




RESEARCH ARTICLE

Examination of The Weld Defects in The Inner-City Natural Gas Pipes with Non-Destructive and Destructive Testing Methods

*  Hamit Adin, ¹  Adnan Doğan, and ²  Mehmet Şükrü Adin

*Batman University, Department of Mechanical Engineering, Batman, Turkey. hamit.adin@batman.edu.tr orcid.0000-0003-2455-967X,

¹ Batman University, Department of Mechanical Engineering, Batman, Turkey. adnandogan2019@hotmail.com orcid.0000-0003-1202-5152,

² Batman University, Department of Mechanical Engineering, Batman, Turkey. mehmetstukru.adin@batman.edu.tr orcid.0000-0002-2307-9669

HIGHLIGHTS

- Radiography, tensile test and 3 different electrodes were used in the study
- As a result of the radiographic examinations, it has been determined that there are many defects in the welded joints.
- It has been found that the optimal electrode for joint welding is the T2-Pure electrode

GRAPHICAL ABSTRACT

Controls made during the production and assembly of natural gas pipelines are very important in terms of quality, human, environmental safety and security. For this reason, in our study, the joining welds of natural gas pipelines used in the city of Mardin were examined with a non-destructive method according to API 1104 standard. Radiographic pictures of the welded joints of the API 5L X42 standard steel pipes used in the natural gas pipeline for non-destructive testing were taken, defects were detected and solutions were tried to be developed. In addition, as part of the study, destructive tests were carried out with welded tensile samples taken from pipes. As a result of the tensile tests, it was seen that the optimal electrode for joint welding is T2-Pure electrode. The graphical abstract of the article is shown in Figure A.

Keywords:

- Natural gas pipes
- API 5L X42
- Welding defects
- API 1104
- Non-destructive testing
- Radiographic testing

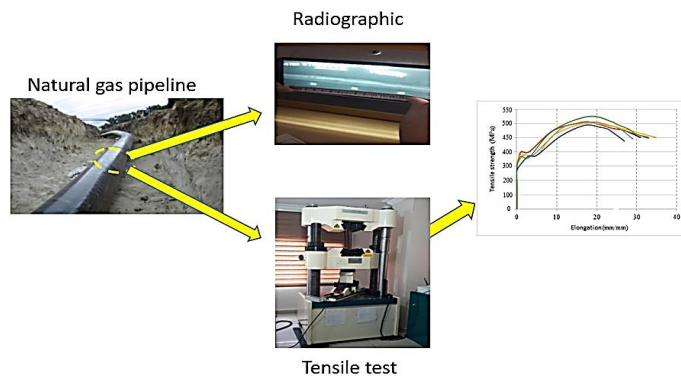


Figure A. Graphical work flow of the proposed study.

Article Info:

Received : 20.04.2021

Accepted : 12.05.2021

Published : 21.06.2021

Aim of Article: To examine the welding defects in natural gas pipelines as destructive and non-destructive.

Material and Method: Radiography, tensile test and 3 different electrodes were used in the study.

DOI:

10.5281/zenodo.4755095

Findings and Results: According to API 1104 standard, defects occurring in welded joints in the pipeline were examined radiographically. In the radiographic examinations, defects were detected in the joint welding.

*Correspondence:

Hamit Adin
hamit.adin@batman.edu.tr

Conclusion: As a result of the radiographic examinations, it was determined that the defects in the joining weld were caused by the electrode used. In addition, as part of the study, destructive tests were carried out with welded tensile samples taken from pipes. As a result of the tensile tests, it was seen that the optimal electrode for joint welding is T2-Pure electrode.



ARAŞTIRMA MAKALESİ / RESEARCH ARTICLE

Şehir İçi Doğalgaz Borularındaki Kaynak Hatalarının Tahribatsız ve Tahribatlı Muayene Yöntemleri ile İncelenmesi

* Hamit Adin, ¹ Adnan Doğan, ² Mehmet Şükrü Adin

* Batman Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Batman, Türkiye. hamit.adin@batman.edu.tr orcid.0000-0003-2455-967X,

¹ Batman Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Batman, Türkiye. adnandogan2019@hotmail.com orcid.0000-0003-1202-5152,

² Batman Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Batman, Türkiye. mehmentsukru.adin@batman.edu.tr orcid.0000-0002-2307-9669

Alıntı / Citation:

Adin, H., Doğan, A., Adin, M.Ş., (2021). Şehir İçi Doğalgaz Borularındaki Kaynak Hatalarının Tahribatsız ve Tahribatlı Muayene Yöntemleri ile İncelenmesi, *Journal of Scientific Technology and Engineering Research*, 2(1):46-57. DOI:10.5281/zenodo.4755095

ÖNE ÇIKANLAR / HIGHLIGHTS

- Çalışmada radyografi, çekme testi ve 3 farklı elektrot kullanılmıştır
- Radyografik incelemeler sonucunda kaynaklı birleşim yerlerinde birçok hata olduğu tespit edilmiştir.
- Bağlantı kaynağı için en uygun elektrotun T2-Saf elektrotu olduğu bulunmuştur

Makale Bilgileri / Article Info /

Geliş Tarihi : 20.04.2021

Kabul Tarihi: 12.05.2021

Yayın Tarihi: 21.06.2021

DOI: 10.5281/zenodo.4755095

***Sorumlu Yazar /**

Corresponding Author :

Hamit Adin,

hamit.adin@batman.edu.tr

Tel: +90 488 217 3503

ÖZET / ABSTRACT

Doğalgaz boru hatlarının imalat ve montajı aşamasında yapılan kontroller kalite, insan, çevre güvenliği ve emniyet bakımından çok önemlidir. Bu nedenle çalışmamızda, Mardin ili şehir içinde kullanılan doğalgaz boru hatlarının birleştirme kaynakları API 1104 standardına göre tahribatsız yöntemle muayene edilmiştir. Tahribatsız muayene için doğalgaz boru hattında kullanılan API 5L X42 standardındaki çelik boruların kaynaklı birleşim yerlerinin radyografik resimleri çekilerek hataları tespit edilmiş ve çözümler geliştirilmeye çalışılmıştır. Ayrıca, çalışma kapsamında borulardan alınan kaynaklı çekme numuneleri ile tahribatlı deneyler de yapılmıştır. Çekme deneyleri sonucunda, birleştirme kaynağı için en uygun elektrotun T2-saf elektrotu olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Doğalgaz boruları, API 5L X42, Kaynak hataları, API 1104, Tahribatsız muayene, Radyografik muayene

I. GİRİŞ [INTRODUCTION]

Dünya genelinde artan doğalgaz kullanımı, arz ve talep merkezlerinin çeşitli taşıma türleri ile birbirine bağlanmalarını zorunlu kılmaktadır. Kara ve deniz yolu taşımacılıklarına kıyasla boru hatları ile doğalgaz taşımacılığı, daha yüksek taşıma hızı yanında daha güvenilir, kaliteli, çevreci ve atmosfer koşullarından etkilenmemesi sebebiyle üstünlükleri vardır. Bu nedenlerden dolayı doğal gaz, gelişen teknolojinin de yardımıyla, üretim merkezlerinden tüketim bölgelerine en ekonomik şekilde boru hatları vasıtasıyla taşınmaktadır

[1-4]. Ekonomik ve stratejik olarak önemli bir yeri olan doğalgazın, üretimi yapılan yerlerden son kullanılacak yere kadar taşınmaları dikkatle yürütülmesi gereken bir işlemdir. Yüksek basınçlarda ve genellikle de çelik borularla bu işlem yapılmaktadır [5-7]. Taşıma işlemini yapacak olan bu boruların her türlü dış etkenlerden korunacak şekilde, yüksek mekanik özelliklere sahip olmaları gerekmektedir [3, 7, 8]. Bu yüzden, petrol ve doğalgazı taşıyan çelik borular, genel olarak API (American Petroleum Institute) 5L standardına uygun olarak üretimi sağlanmaktadır. API 5L standardında üretilen çelikler, düşük alaşımlı ve yüksek mukavemetli



çelik serileridirler [9-11]. API 5L standardı, A, B ve X kalite gruplarından oluşmaktadır. Bu kalite gruplarında, A kalite sınıfı 210 MPa (30500 Psi), B kalite sınıfı ise 245 Mpa (35500 Psi) minimum akma mukavemetini ifade etmektedir. X kalite sınıfına baktığımızda ise örneğin X42, 42100 Psi (290 MPa) minimum akma mukavemetini ifade etmektedir. Ayrıca, API 5L standardında üretilen borular, dikişsiz veya dikişli çelik borular olarak imal edilirler [12, 13]. Çelik sınıflarına göre API 5L standardında boru imalat metotları Tablo 1’de verilmiştir [14].

Tablo 1. Çelik sınıflarına göre API 5L standardında boru imalat metotları [14].

Kullanılan kaynak tekniklerine göre boru imalat metodu	Çelik Sınıfı (Standart gösterim)		
	A 25	A ve B	X42 – X80
Dikişsiz	✓	✓	✓
Dikişli (Boyuna ve spiral)			
Boyuna dikişli			
Alın kaynaklı	✓		
Örtülü elektrotlu ark kaynaklı	✓	✓	✓
Toz altı ark kaynaklı		✓	✓
Gaz metal ark kaynaklı		✓	✓
Gaz metal ark ve toz altı ark kaynaklı			✓
Çift dikişli*		✓	✓
Spiral dikişli**			
Spiral toz altı ark kaynaklı		✓	✓
(*) Çift dikişli borular 914,4 mm ve daha büyük dış çaplar ile sınırlandırılmıştır. (**) Spiral dikişli borular 114,3 mm ve daha büyük dış çaplar ile sınırlandırılmışlardır.			

Çelik sınıflarına göre API 5L standardında imal edilen çelik boruların mekanik özellikleri ise Tablo 2’de verilmiştir [15].

Tablo 2. API 5L standardına göre boruların mekanik özellikleri [15].

Çelik Sınıfı	Minimum akma mukavemeti		Minimum çekme mukavemeti	
	MPa	Psi	MPa	Psi
A 25	175	25400	310	45000
A	210	30500	335	48600
B	245	35500	415	60200
X 42	290	42100	415	60200
X 46	320	46400	435	63100
X 52	360	52200	460	66700
X 56	390	56600	490	71100
X 60	415	60200	520	75400
X 65	450	65300	535	77600
X 70	485	70300	570	82700

Doğalgaz boruları genel olarak kaynak yapılarak birleştirildiğinden kaynaklı birleştirilmenin kalitesi önem arz etmektedir. Bu yüzden, kaynakla yapılan birleştirmelerde, istenilen mekanik özelliklere ulaşabilmek için kullanılan elektrotun uygunluğu çok önemlidir [16]. Ayrıca, kullanılan elektrotun uygunluğu ile birlikte kaynak yapan operatörün uzmanlığı da kaynak kalitesini oldukça artırmaktadır. Bu sayede, kaynak bölgesinde oluşabilecek olan cüruf, enine çatlaklar, eksik doldurulmuş oluk, aşırı kök nüfuziyeti, kök nüfuziyet eksikliği, erime eksikliği ve gözenekli yapı gibi kaynak bölgesi hataları en aza indirilmektedir [17].

Gelişen teknolojiyle birlikte imal edilen ürünlerin kalite ve güvenilirliği de büyük bir önem kazanmaktadır. Bu yüzden, kalite ve güvenilirliğin sağlanması bakımından, üretilen ürüne herhangi bir zarar vermeden tahribatsız olarak muayene ilgi çekmektedir. Tahribatsız olarak yapılan muayene yöntemiyle, imal edilen ürünlerdeki hatalar kullanımdan önce tespit edilmiş olmaktadır [18-20].

Tahribatsız muayene işlemlerinden olan radyografi testi, petrol ve doğalgaz taşıyan borulara yapılan birleştirme kaynağının uygunluğunu kontrol etmek amacıyla sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yöntemin kaynak hatalarını

belirlemekte başarılı olduğu bilinmektedir [18, 20]. Çalışmamızda, Mardin İli şehir içi doğalgaz boru hatlarının birleştirilmesi için kullanılan kaynaktaki hataların tespiti amacıyla radyografik incelemeler yapılmıştır. İncelemeler için X ışını ve gama ışını cihazları kullanılarak boruların çok sayıda radyografik filmi çekilmiş ve kaynaklı birleştirmelerin kusurları bulunmuştur.

Çalışmalarda, bulunan kusurların giderilmesi için spiral dikişli API 5L standardında üretilen X42 çelik doğalgaz boruları 3 farklı elektrotla yeniden kaynak edilmiş ve kaynak birleştirme noktalarından elde edilen numunelere çekme testleri uygulanarak en uygun kaynak elektrodu tespit edilmeye çalışılmıştır.

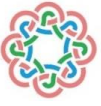
II. MATERYAL VE METOD [MATERIAL AND METHOD]

Çalışmada, Mardin İli sınırları içerisinde yer alan yaklaşık 7 km uzunluğunda, API 5L X42 kalitesinde, 8 inç ve 4,8 mm et kalınlığındaki doğalgaz borularının kaynak yerleri tahribatsız (Radyografik) muayene yöntemi ile incelenmiştir. Muayeneler esnasında, radyografik filmlerle tespit edilen kaynak hatalarının yerleri işaretlenmiştir. İşaretlenen hatalı kaynaklar mekanik olarak taşlama yapılarak temizlenmeye çalışılmıştır. Temizle işleminin yapılmadığı durumlarda ise kaynak bölgesi kesilerek boruların üzerinde yeniden kaynak ağzı açılmıştır. X42 çelik boruların kaynak ağzı “V” şeklinde ve 60° açılı olarak açılmıştır. Boruların kaynak ağzı başarılı bir kaynağın olması için her türlü pas, boya vb. şeylerden temizlenmiştir. Açık ve kapalı alanda kullanıma uygun olması ve doğalgaz borularının kaynaklı birleştirilmelerinde sıklıkla kullanılması sebebiyle örtülü elektrotla elektrik ark kaynak metodu kullanılmıştır [18]. Kaynak işlemi için kullanılan elektrotun çapı 2,5 mm olarak seçilmiştir. Boru kaynağında uygulanan pasolar, et kalınlığı 4 mm’den büyük olması sebebiyle 5 paso olarak

(kök, sıcak, dolgu, dolgu ve kapak şeklinde) yapılmış olup Kök pasoda 110 Amper ve 25 Volt, diğer pasolarda ise 290 Amper ve 30 Volt cihaz değerleri kullanılmıştır. Kaynak işlemi yukarıdan aşağıya olacak şekilde yapılmıştır. Boruların hizaları çok hassas şekilde sabitleyici aparatlarla yapılmıştır. Kullanılan elektrotlar, sadece kullanım aşamasında kutularından çıkarılmış olup dış etkilerden (yağmur, nem vb.) korunmasına dikkat edilmiştir. Bu amaç için portatif bir kulübe kullanılmıştır. Aynı şekilde, operatörler içinde portatif bir kulübe kullanılmıştır. Doğru sonuçların elde edilmesi amacıyla tüm kaynak işlemleri saha koşullarında yapılmıştır. Hatalı kaynak yapılan doğalgaz borularının kaynak yerleri taşlama yapılarak temizlendikten sonra 17 takım halinde ve 3 farklı (sırasıyla, E42 2C 21, T1-Saf ve T2-Saf elektrotları kullanılarak) elektrotla tekrar kaynak edilmiştir. Çalışmanın deneysel sonuçlar ve tartışma bölümünde, T1-Saf ve T2-Saf elektrotlarının ihtiyaçlara göre E42 2C 21 elektrodu (AWS A5.1 E6010) üzerinde kimyasal değişikliklerle nasıl elde edildiği belirtilmiştir. Farklı elektrotlarla kaynak edilen bu takımların kaynak bölgelerinin yeniden radyografik filmleri çekilmiştir. Böylece, kaynak hataları varsa tespit edilerek sorunlar giderilmiştir. Tüm kaynak işlemleri API 1104 standartlarına uygun kaynak yapabilen sertifikalı uzman teknisyenler tarafından yapılmıştır. Hataları giderilen X42 çeliğinden yapılmış boruların kaynaklı birleştirme yerlerinden, kaynaklı birleştirmeyi yapmaya en uygun elektrotun tespiti amacıyla, numuneler alınarak mukavemetlerini ölçmek amacıyla çekme testi (tahribatlı) uygulanmıştır. Çekme deneyleri sonucunda, en yüksek çekme mukavemetini sağlayan elektrotun doğalgaz borularının birleştirilmeleri için kullanılması sağlanmıştır. Çalışmamız kapsamında kullanılan ve API standartlarına göre imal edilen X42 kalitesindeki çelikler, doğalgaz boru hatları olarak sıklıkla kullanılan, yüksek mukavemetli, düşük alaşımlı ve ince taneli doğalgaz borularıdır [9-11, 21, 22]. Çalışmada kullanılan X42 çeliğinin kimyasal bileşimi Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. X42 çeliğinin kimyasal bileşimi.

Malzeme	Kimyasal Bileşim (%)													
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Ti	Nb	V	B	Fe
X42	0,26	0,45	1,30	0,03	0,03	0,50	0,50	0,50	0,15	0,04	0,05	0,005	10	Kalan



Tablo 4. Elektrotların kimyasal bileşimi.

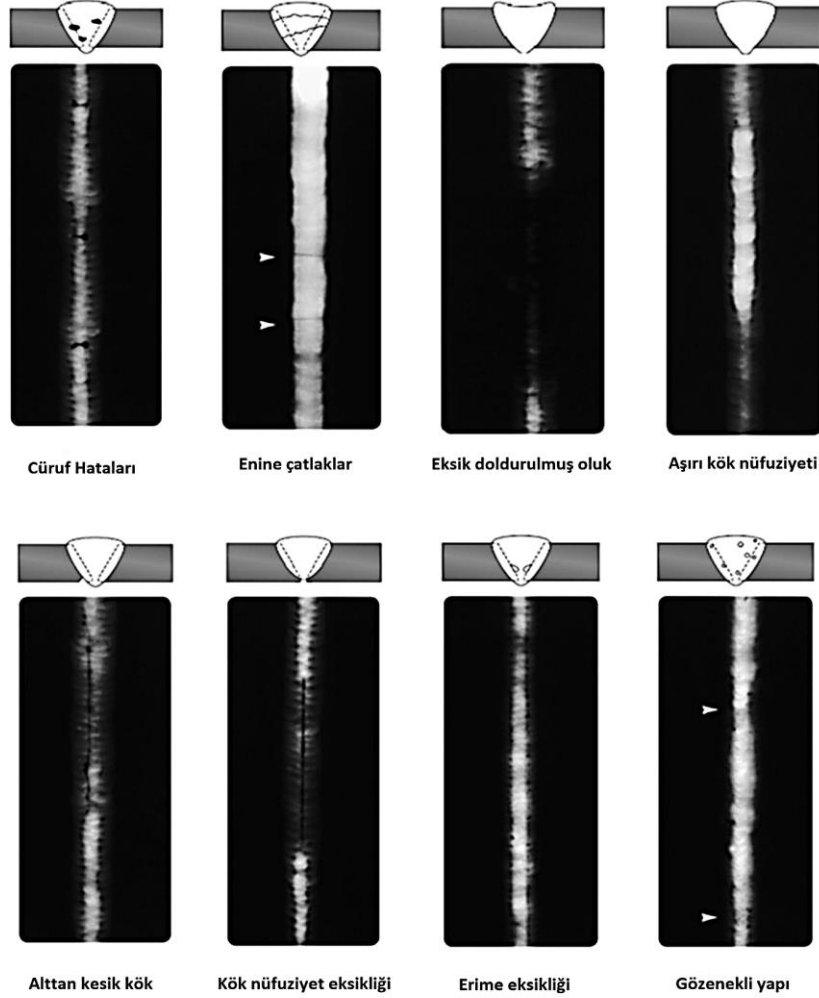
Elektrot	Kimyasal Bileşim (%)				
	C	Si	Mn	Mo	Ni
E42 2C 21	0,08	0,2	0,6	-	-
T1-Saf	0,08	0,2	0,6	0,002	0,035
T2-Saf	0,08	0,2	1,1	0,008	0,048

Deneysel çalışmada kullanılan elektrotların kimyasal özellikleri Tablo 4'te verilmiştir.

2.1. Radyografik muayene

Kaynak yapılarak birleştirilen doğalgaz borularının, tahribatsız muayene yöntemlerinden radyografik incelemeleri (Kodak T200 film tipi) ile boru hattındaki birleştirme dikişlerinde meydana gelen hatalar uzman bir teknik personel tarafından API 1104 standardına göre

tespit edilmiştir. Böylece kaynak hataları giderilmiştir. Radyografik incelemelerde, en yaygın görülen kaynak bölgesi hataları Şekil 1'de verilmiştir [23].



Şekil 1. Radyografik incelemelerde en yaygın görülen kaynak bölgesi hataları [23].

API 1104 standardına göre hataların değerlendirilmesi aşağıda belirtildiği gibidir [24].

- Bir gözenegin çapı 1,5 mm'yi geçmemelidir.
- Kaynak dikişindeki herhangi bir çatlak hiçbir şekilde kabul edilemez ve bu dikişlerin hemen sökülüp tamir edilmesi gerekir.
- Yan cidarı kaynamama ve yetersiz nüfuziyet de boruların kaynağında müsaade edilmeyen hatalardır.
- Kök paso taşkınlığının (şişkinliğinin) 2 mm'ye kadar olanı kabul edilir.
- Kök pasonun içbükey olması halinde (çevre dikişinin yarısına kadar olması şartıyla) en çok cidar kalınlığının %10'una kadar mevcut bir içbükeylik kabul edilir.
- Rastgele dağılmış bulunan bir cüruf kalıntısının genişliği en fazla 3 mm olabilir. Komşu kalıntının da en az 50 mm uzakta olması gerekir.

2.2. Çekme deneyi

Mekanik olarak yapılan çekme deneylerinde, kaynak birleştirme noktalarından elde edilen ve API standardına göre hazırlanan numuneler kullanılmıştır. Çekme deneyleri 60 ton kapasiteli Laryee 600 LX isimli çekme cihazı ile oda sıcaklığında, %50 nemde yapılmıştır. Bütün çekme deneyleri 5 mm x dk⁻¹ çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Çekme deneyleri sayesinde, kaynak yapılan doğalgaz borusunun dikişlerinin mukavemeti ve % uzaması değerlerinin bulunması sağlanmıştır. Bulunan bu değerlerin birbiriyle karşılaştırması ile kaynak bölgesine uygulanan elektrotun uygun olup olmadığı saptanmıştır.

Deneysel çalışma için doğalgaz borularının kaynak yapılmış kısımlarından alınan numuneler API standardına göre mm olarak 4,8x25x500 ölçülerinde hazırlanarak Laryee 600 LX isimli çekme cihazı ile otomatik şekilde, kopma meydana gelene kadar çekme işlemine devam edilmiştir. Çekme deneylerinde kaynağın mukavemeti ölçüldüğünden, kaynak yapılan bölgeye dik olacak şekilde çekme yükü uygulanmıştır. Çekme testinde, 17 deney takımının her birinden 3'er numune alınarak (Toplamda 51 adet) ortalama değerleri bulunmuştur. Çekme deneyi için hazırlanan bir numune Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Çekme deneyi numunesi.

III. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA [EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION]

3.1. Radyografik sonuçlar

API 1104 standardına göre, boru hattındaki kaynaklı birleştirmelerde meydana gelen hataların radyografik incelemeleri uzman bir teknik personel tarafından kontrol edilmiş olup tespit edilen bazı kaynak hatalarının fotoğrafları Şekil 3'te verilmiştir. Şekil 3'ten de anlaşıldığı gibi, 1. takım radyografik filmi incelendiğinde, 1 adet 4 cm uzunluğunda cüruf hatası ve 3 cm uzunluğunda kapak kaynağında düşüklük olduğu yani kapak pasosunun tamamlanmadığı gözlenmiştir. Tespit edilen bu kaynak hatasının giderilmesi amacıyla, mekanik olarak kaynak bölgesi temizlenerek tekrar kaynak yapılmış ve hata giderilmiştir.



Şekil 3. Radyografik incelemelerde tespit edilen bazı hataların fotoğrafları.

Şekil 3'te bulunan 3. takımın radyografik filmi incelendiğinde, kaynak dikişi boyunca yanma olduğu görülmektedir.

Kaynak yapılırken, kaynak operatörünün amperi yüksek tutması sebebiyle kaynakta 5,5 cm uzunluğunda yanma olduğu anlaşılmıştır. Tespit edilen bu kaynak hatası, kaynaklı bölge mekanik olarak temizlendikten sonra yeniden kaynak yapılmıştır. Şekil 3'te verilen 5. Takımın radyografik filmi incelendiğinde, 10-20 cm aralığında 3 tane küçük gaz boşluğu olduğu ve kapakta yanma olduğu görülmektedir. 10-20 cm aralığında bulunan hatalı kaynak mekanik olarak temizlendikten sonra yeniden kaynak yapılarak hata giderilmiştir. Şekil 3'te bulunan 7. takımın radyografik filmi incelendiğinde, 30-35 cm aralığında cüruf sıkışması olduğu, ayrıca 35-40 cm arasında ise kapakta düşüklük olduğu gözlemlenmiştir. Belirlenen hatalı bölge temizlenerek tekrar kaynak yapılmış ve kapaktaki düşüklük böylece giderilmiştir. Şekil 3'te bulunan 9. takımın radyografik filmi incelendiğinde, 10-15 cm aralığında az da olsa kaynak erime eksikliği olduğu görülmektedir. Belirlenen hatalı bölge temizlenerek tekrar kaynak yapılmıştır. Şekil 3'te bulunan 11. takımın radyografik filmi incelendiğinde, 52-53 cm aralığında küçük gaz boşluklarının olduğu ve kök pasoda (boru ağzında yığılmanın) olduğu görülmüştür. Belirlenen hatalı bölgedeki kaynak temizlendikten sonra düzgün bir şekilde yeniden kaynak yapılarak hata giderilmiştir. Şekil 3'te bulunan 13. takımın radyografik filmi incelendiğinde, 45. cm hizasında kaynak bölgesinde kayma olduğu tespit edilmiş ve bölge temizlenip düzeltildikten sonra yeniden kaynak yapılarak hata giderilmiştir. Şekil 3'te bulunan 15. takımın radyografik filmi incelendiğinde, kaynak yapılan bölgede küçük bir cüruf kalıntısı tespit edilmiştir. Belirlenen bu cüruf kalıntısının bulunduğu kaynak bölgesi temizlendikten sonra yeniden kaynak yapılarak hata giderilmiştir.

3.2. Çekme deneyi sonuçları

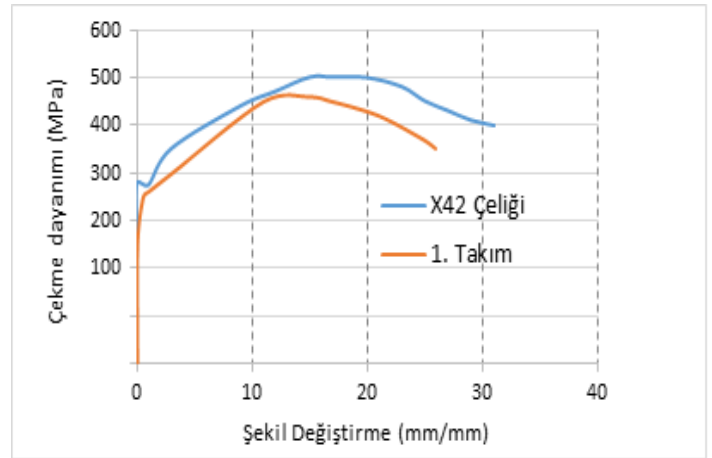
3 farklı elektrotla birleştirilen doğalgaz borularının kaynak bölgesinden elde edilen 17 deney takımındaki (her takımında 3'er numune) toplam 51 numuneye çekme testi uygulanmıştır. API standardına göre hazırlanan numunelerin çekme testinden elde edilen verilerle hangi elektrotun doğalgaz borularını birleştirmeye en uygun olduğu tespit edilmiştir.

E42 2C 21 elektrotu ile birleştirme kaynağı yapılan X42 çelik doğalgaz borularından alınan 1.takım numunelerine çekme testi uygulanmış olup akma ve çekme mukavemetleri ile kopmanın olduğu bölge Tablo 5'te belirtilmiştir.

Tablo 5. X42 çeliğin ve 1.takımın akma ve çekme mukavemeti değerleri.

Numune	Akma (MPa)	Çekme (MPa)	Hasar Bölgesi
X42 çeliği	372,70	499,2	-
1.Takım	362,46	452,6	Kaynak

Tablo 5'teki akma ve çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde, X42 çeliğinin akma mukavemeti 372,7 MPa, çekme mukavemeti ise 499,2 MPa olduğu görülmüştür. Bu değerler 1.takımın 362,46 MPa olan akma mukavemeti ve 452,6 MPa olan çekme mukavemeti ile kıyaslandığında, E42 2C 21 elektrotunun birleştirmeye yeterli katkıyı sağlayamadığı açık şekilde görülmektedir. Ayrıca, kopmanın kaynak bölgesinde oluşması, başka bir olumsuz sebep olmuştur. Bu yüzden elektrotun değiştirilmesine karar verilmiştir. Şekil 4'te, E42 2C 21 elektrotu kullanılarak birleştirilen 1. Takımdaki X42 çelik borularından alınmış numunenin gerilme-şekil değiştirme diyagramı, X42 çelik borularının çekme testi değerleri ile karşılaştırılarak verilmiştir. Uyumsuzluk burada daha net şekilde görülmektedir.



Şekil 4. X42 çeliği ve 1. takımın gerilme-şekil değiştirme diyagramı.

Hem kaynak hatalarının giderilmesi hem de kaynak dikişinin mekanik olarak güçlendirilmesi amacıyla, E42 2C 21 elektrotunun kimyasal yapısına, tokluk ve dayanımının artırılması için %0,002 oranında Molibden elementi ve %0,035 oranında Nikel elementi eklenen T1-Saf ismi verilen yeni bir örtülü elektrot, üretici firmaya özel olarak yaptırılmıştır (Tablo 4). Yeni üretilen T1-Saf elektrotun çapı da 2,5 mm olarak belirlenmiştir.

Tablo 6'daki akma ve çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde, X42 çeliğinin akma Mukavemeti 372,7 MPa, çekme mukavemeti ise 499,2 MPa olduğu görülmüştür. Bu değerler T1-Saf elektrotu ile kaynak yapılarak birleştirilen 3.takımın 329,96 MPa olan akma mukavemeti ve 467,1 MPa olan çekme mukavemeti ile kıyaslandığında, T1-Saf elektrotunun da birleştirmeye yeterli katkıyı sağlayamadığını göstermektedir.

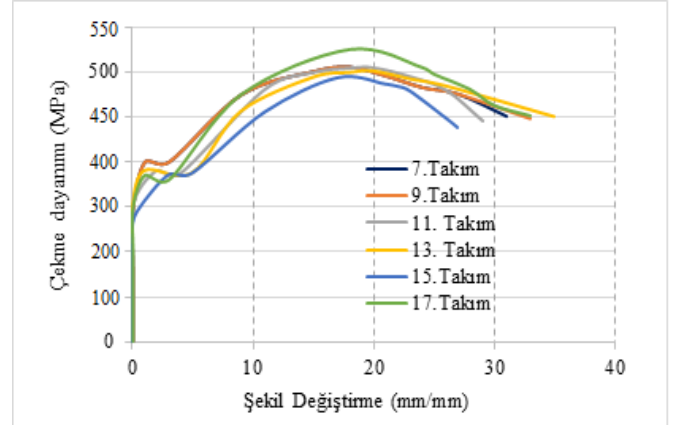
Tablo 6. X42 çeliğin ve 3.takımın akma ve çekme mukavemeti değerleri.

Numune	Akma (MPa)	Çekme (MPa)	Hasar Bölgesi
X42 çeliği	372,70	499,2	-
3.Takım	329,96	467,1	Kaynak

T1-Saf elektrotunun uygun olmadığı saptandıktan sonra tokluk ve dayanımının daha da artırılması için E42 2C 21 elektrotunun kimyasal yapısına Tablo 4'te belirtildiği gibi %0,008 oranında Molibden ve %0,048 oranında Nikel elementi eklenerek T2-Saf isminde (2,5 mm çapında) yeni bir örtülü elektrot üretici firmaya özel olarak yaptırılmıştır.

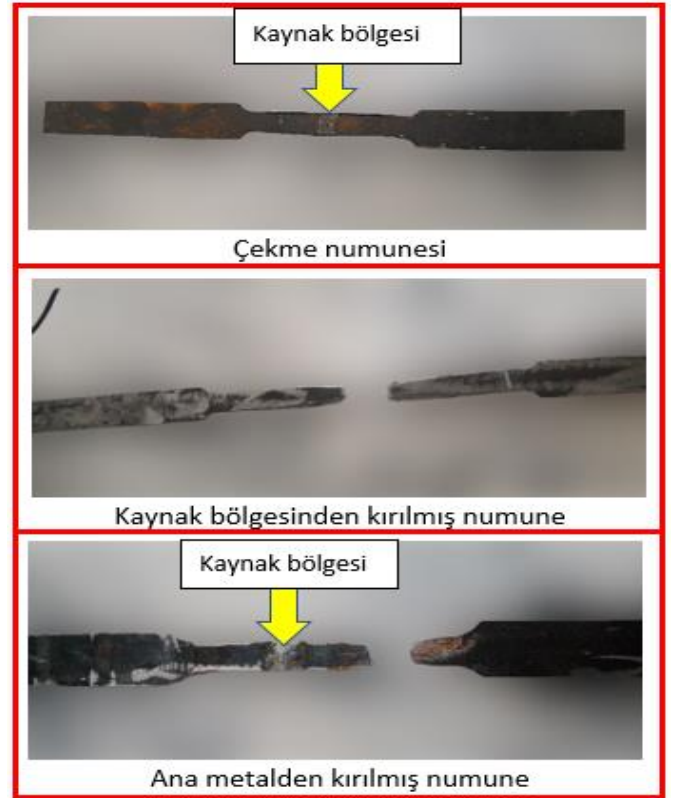
T2-Saf elektrotu kullanılarak yapılan birleştirme kaynağının 7, 9, 11, 13, 15 ve 17. takımındaki çekme deneyi sonuçları Tablo 7 de ve grafik olarak ise Şekil 5'te verilmiştir. Tablo 7 ve Şekil 5'ten de anlaşıldığı gibi en uygun elektrotun T2-Saf olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca tüm çekme deneyi kopmaları da X42 çelik boru (Ana metal) tarafında olmuştur. Bu da olması istenilen en iyi durumdur [25].

Şekil 5'te görüldüğü gibi, 9. takımın gerilme-şekil değiştirme grafiği incelendiğinde, ortalama akma mukavemetinin en yüksek değer olan 399,2 MPa'ya ulaştığı, çekme mukavemetinin 495,76 MPa olduğu ve şekil değiştirme değerinin ise 33 (mm/mm) olduğu görülmektedir. X42 çeliğinin 372,70 MPa olan akma ve 499 MPa olan çekme mukavemeti ile karşılaştırıldığında T2-Saf elektrotunun oldukça başarılı bir kaynak elektrotu olduğu görülmektedir. Elde edilen değerlerden sonra 584 adet X42 çeliğinden üretilmiş doğal gaz boruları T2-Saf elektrotu ile birbirine yeniden kaynak edilmiştir.



Şekil 5. 7, 9, 11, 13, 15 ve 17. takımın gerilme-şekil değiştirme diyagramı.

Şekil 6'da, çekme deneyi öncesi X42 boru çeliği çekme testi numunesi, çekme deneyi sonrası kaynak bölgesi ve ana metalde meydana gelen kırılmaların fotoğrafları verilmiştir.



Şekil 6. Çekme deneyi öncesi ve sonrası numune fotoğrafları.



Tablo 7. Çekme deneyinde kullanılan 7, 9, 11, 13, 15 ve 17. takımların akma ve çekme mukavemeti değerleri.

Deney Takımı	Numune	Akma Gerilmesi (MPa)	Çekme Gerilmesi (MPa)	Hasar Bölgesi
7.Takım	1	379,60	497,70	Ana Metal
	2	382,50	501,30	Ana Metal
	3	376,20	505,10	Ana Metal
	Ortalama	379,43	501,36	Ana metal
9. Takım	1	402,70	493,00	Ana Metal
	2	395,34	499,10	Ana Metal
	3	399,67	495,20	Ana Metal
	Ortalama	399,20	495,76	Ana Metal
11. Takım	1	377,10	490,90	Ana Metal
	2	382,80	496,30	Ana Metal
	3	389,50	492,50	Ana Metal
	Ortalama	383,13	493,23	Ana Metal
13. Takım	1	370,8	509,66	Ana Metal
	2	383,00	496,00	Ana Metal
	3	376,00	499,33	Ana Metal
	Ortalama	376,6	501,66	Ana Metal
15. Takım	1	377,00	489,10	Ana Metal
	2	369,90	472,60	Ana Metal
	3	370,60	473,90	Ana Metal
	Ortalama	372,50	478,53	Ana Metal
17. Takım	1	379,30	527,51	Ana Metal
	2	380,90	520,99	Ana Metal
	3	375,60	519,78	Ana Metal
	Ortalama	378,60	522,76	Ana Metal



IV. SONUÇ VE ÖNERİLER [CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS]

Bu çalışmada, Mardin İli sınırları içerisinde yer alan yaklaşık 7 km uzunluğunda, API 5L X42 kalitesinde, 8 inç ve 4,8 mm et kalınlığındaki doğalgaz borularının kaynak yerleri tahribatsız (Radyografik) muayene yöntemi ile incelenmiştir. Radyografik incelemelerde, kaynak dikişlerinin API 1104 standartlarına uygun olmadığı gözlemlenmiştir. Hatalı kaynak yerleri temizlenen (veya yeniden kaynak ağzı açılan) doğalgaz borularına 17 takım halinde ve 3 farklı elektrotla (Sırasıyla, E42 2C 21, T1-Saf ve T2-Saf) tekrar kaynak yapılmıştır. Daha sonra, tamiri yapılan bu takımların kaynak bölgelerinin yeniden radyografik filmleri çekilmiştir. Böylece, kaynak hataları tespit edilerek sorunlar giderilmiştir. Hataları giderilen X42 çeliğinden yapılmış boruların kaynaklı birleştirme yerlerinden, kaynaklı birleştirmeyi yapmaya en uygun elektrotun tespiti amacıyla numuneler alınarak mukavemetlerini ölçmek için çekme testleri uygulanmıştır. Çekme testleri sonucunda, en yüksek çekme mukavemetini sağlayan T2-Saf elektrotunun en uygun elektrot olduğu tespit edilerek, X42 çeliğinden yapılmış doğalgaz borularının birleştirilmeleri için kullanılması sağlanmıştır. Çalışmamız kapsamında yapılan tahribatlı ve tahribatsız deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Radyografik incelemeler sonucunda, kaynak yapılan yerlerde cüruf, gözenek ve yeterli birleşmeme gibi birçok hatanın olduğu tespit edilmiştir. İşaretlenen hatalı kaynaklar mekanik olarak taşlama yapılarak temizlenmeye çalışılmıştır. Temizle işleminin yapılamadığı durumlarda ise kaynak bölgesi kesilerek boruların üzerinde yeniden kaynak ağzı açılmış ve tekrar kaynak yapılmıştır.
- Yeni kaynak için sırasıyla, E42 2C 21, T1-Saf ve T2-Saf elektrotları kullanılmıştır.
- Yeni kaynak için denenen elektrotlardan T1-Saf ve T2-Saf elektrotları, E42 2C 21 elektrotunun kimyasal bileşimine farklı oranlarda Molibden ve Nikel elementleri eklenerek ihtiyaçlar doğrultusunda özel olarak üretilerek isimlendirilmişlerdir. Yeni Elektrotların çapı standartlara uygun olarak 2,5 mm olarak üretilmiştir.
- API 5L X42 kalitesinde üretilen doğalgaz borularının kaynakla birleştirilmesi için kullanılan E42 2C 21 ve T1-Saf elektrotlarının, çekme deneyi sonuçlarına göre kopmaların kaynak bölgesinde olmaları sebebiyle uygun olmadıkları tespit edilmiştir. Ayrıca, E42 2C 21 ve T1-Saf elektrotlarının uygun olmamasının bir diğer sebebi de X42

çeliğine göre akma ve çekme mukavemetleri değerlerinin daha düşük çıkmasıdır.

- E42 2C 21 ve T1-Saf elektrotlarının uygun olmamaları sebebiyle T2-Saf elektrodu denenmiştir. T2-Saf elektrodu ile yapılan kaynaklı numunelerin akma ve çekme mukavemetlerinin X42 çeliğinin mukavemet değerlerine yakın hatta bazı takımlarda daha yüksek çıktığı belirlenmiştir. Böylece T2-Saf elektrodu ile doğalgaz boruları kaynak yapılmıştır.

Bu çalışma sayesinde, API 5L X42 kalitesinde üretilen doğalgaz borularının kaynak edilmesinde kullanılacak en uygun elektrot (T2-Saf) belirlenerek ileride oluşabilecek hasarların önüne geçilmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI [CONFLICTS OF INTEREST]

Yazarlar arasında ve ilgili kurumları arasında herhangi çıkar çatışması olmadığını bildirmişlerdir.

ETİK KURALLARA UYGUNLUK [RESEARCH AND PUBLICATION ETHICS]

Yazarlar bu makalenin etik kurul onayı veya herhangi bir özel izin gerektirmediğini beyan ederler.

KAYNAKLAR [REFERENCES]

- [1] R. Ashari, A. Eslami, M. Shamanian, and S. Asghari, "Effect of weld heat input on corrosion of dissimilar welded pipeline steels under simulated coating disbondment protected by cathodic protection," *J Mater Res Technol*, vol. 9, no. 2, pp. 2136-2145, Mar-Apr 2020, doi: 10.1016/j.jmrt.2019.12.044.
- [2] R. Ashari and A. Eslami, "Anisotropy in Mechanical Properties and Corrosion of X-52 Pipeline Steel at Different Pipe Angles," *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*, vol. 55, no. 3, pp. 546-553, 2019.
- [3] J.-h. Baek, Y.-p. Kim, C.-m. Kim, W.-s. Kim, and C.-s. Seok, "Effects of pre-strain on the mechanical properties of API 5L X65 pipe," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 527, no. 6, pp. 1473-1479, 2010.
- [4] S. S. Abedi, A. Abdolmaleki, and N. Adibi, "Failure analysis of SCC and SRB induced cracking of a transmission oil products pipeline," *Engineering Failure Analysis*, vol. 14, no. 1, pp. 250-261, 2007.



- [5] S. Aksöz, H. Ada, and A. Özer, "Toz Altı Kaynak Yöntemiyle Üretilen API 5L X70 Kalite Çelik Boruların Mikroyapı Ve Mekanik Özellikleri," *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, vol. 5, no. 1, pp. 55-64, 2017.
- [6] A. Hakan, S. Aksöz, T. Fındık, C. Çetinkaya, and M. Gülsün, "Tozaltı Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen Petrol ve Doğalgaz Borularının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi," *Politeknik Dergisi*, vol. 19, no. 3, pp. 275-282, 2016.
- [7] Y. Bai, *Pipelines and risers*. Oxford, UK: Elsevier, 2001.
- [8] J.-h. Baek, Y.-p. Kim, W.-s. Kim, J.-m. Koo, and C.-s. Seok, "Load bearing capacity of API X65 pipe with dent defect under internal pressure and in-plane bending," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 540, pp. 70-82, 2012.
- [9] S. Hashemi and D. Mohammadyani, "Characterisation of weldment hardness, impact energy and microstructure in API X65 steel," *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, vol. 98, pp. 8-15, 2012.
- [10] S. W. Hong, J. M. Koo, C. S. Seok, J. W. Kim, J. H. Kim, and S. K. Hong, "Fatigue life prediction for an API 5L X42 natural gas pipeline," *Engineering Failure Analysis*, vol. 56, pp. 396-402, 2015.
- [11] M. Rakhshkhorshid and S. Hashemi, "Experimental study of hot deformation behavior in API X65 steel," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 573, pp. 37-44, 2013.
- [12] M. Yıldız, "Doğalgaz boru hatlarının kaynağı ve tahribatsız muayenesi," Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2000.
- [13] H. Güloğlu, "Tozaltı kaynaklı spiral boru imalinde kaynak parametrelerinin boru kalitesine etkisi," Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 1997.
- [14] H. Özaltun, "Boru hatlarında hasar oluşumu ve hasarların çeşitli kaynak teknikleri kullanılarak tamir edilme usulleri," Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 1999.
- [15] API, *API specifications 5L: Specifications for line pipe*. American Petroleum Institute (API) 2015.
- [16] K. Tülbentçi, *MIG-MAG Eriyen Elektrod ile Gazaltı Kaynağı*. Gedik Eğitim Vakfı, 1990.
- [17] P. Kirkwood, K. Prosser, and P. Boothby, "The Properties of Pipeline Girth Welds Produced by Arc Welding Processes," *Pergamon Press Canada*, pp. 359-377, 1984.
- [18] H. Ada, C. Çetinkaya, and A. Durgutlu, "Taguchi metoduyla belirlenen kaynak parametrelerinin API 5L X65 boru birleştirmelerinde radyografik ve makrografik incelemeleri," *Politeknik Dergisi*, vol. 22, no. 2, pp. 375-384, 2019.
- [19] C. J. Hellier, *Handbook of nondestructive evaluation*. McGraw-Hill Education, 2013.
- [20] G. Knauf and A. Kulgemeyer, "Major Standards for Line Pipe Manufacturing and Testing," *Oil and Gas Pipelines*, pp. 223-224, 2015.
- [21] N. Idris, Z. Mustafa, and A. Fauzi, "Experimental study on radial interacting corrosion for X42 pipelines," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, vol. 476, no. 1: IOP Publishing, p. 012068.
- [22] M. A. Azam, S. Sukarti, and M. Zaimi, "Corrosion behavior of API-5L-X42 petroleum/natural gas pipeline steel in South China Sea and Strait of Melaka seawaters," *Engineering Failure Analysis*, vol. 115, p. 104654, 2020.
- [23] ASME, *Boiler and Pressure Vessel Code Section V: Nondestructive Examination*. The American Society of Mechanical Engineers 2017.
- [24] API, *Welding of Pipelines and Related Facilities: Pipeline Segment, API Standard 1104*. American Petroleum Institute (API), 1995.
- [25] S. Aksöz, H. Ada, T. Fındık, C. Çetinkaya, B. Bostan, and İ. Candan, "API 5L X65 Çeliklerinin Elektrik Ark Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmesinde Kaynak İşleminin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi," *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, vol. 4, no. 1, pp. 72-81, 2017.