

ZIRH ÇELİKLERİNİN KAYNAĞINDA HİDROJEN İÇERİĞİNİN RAMAN SPEKTROSKOPİ YÖNTEMİ İLE ANALİZ EDİLMESİ*

Göksel Durkaya¹

Yrd. Doç. Dr.,
goksel.durkaya@atilim.edu.tr

Hakan Kaplan¹

hakan.kaplan@psaron.com

Barış Çetin²

cerin.baris@fnss.com.tr

Murat Gürleyik² **

murat.gurleyik@fnss.com.tr

Ali Rıza Pişkin²

aliriza.piskin@fnss.com.tr

Kıvılcım Ersoy²

Dr.,
kivilcim.ersoy@fnss.com.tr

Halim Meço²

Dr.,
halim.meco@fnss.com.tr

¹ Atılım Üniversitesi,
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği,
Nanoskopi Laboratuvarı, Ankara

² FNSS Savunma Sistemleri A.Ş., Ankara,

INVESTIGATION OF THE HYDROGEN CONTENT IN WELDING OF ARMOR STEELS BY RAMAN SPECTROSCOPY

ÖZ

Yüksek dayanımlı çeliklerin özel bir sınıfı olan zırh çeliklerinin kaynaklı birleşiminde karşılaşılan en büyük sorunlardan biri soğuk çatlaklardır. Soğuk çatlakların oluşum mekanizması günümüzde bile tam olarak belirlenememiş olsa da en büyük risk faktörünün ortamda veya çelik alaşımında bulunan hidrojen içeriği olduğu bilinmektedir. Literatürde farklı görüşler olsa da genel bir kabul olarak, 5 ppm değerinden daha yüksek oranda hidrojen içeren çelik malzemelerde yüksek oranda soğuk çatlak riski bulunmaktadır. Bu değer üzerindeki çözülmüş hidrojen miktarı, ince çatlaklara, hidrojen gevrekliği ve kabarcıklanmasına yol açarak çeliğin mekanik performansını yıkıcı şekilde etkileyebilmektedir. Raman spektrometresi ise temel olarak fonon titreşimleri ile ışığın etkileşimini analiz ederek malzemenin kimyasal özelliklerini tespit etmeye yarayan tahribatsız bir yöntemdir. Bu çalışmada, hidrojenin, çeliğin moleküler yapısına etkisini incelemek için Raman spektroskopisi ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlerde kaynak bölgesinde analizler yapılarak karbon, hidrojen, oksijen, nitrojen, bağ yapılarının oluşum dinamikleri analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çelik, hidrojen içeriği, soğuk çatlak, Raman spektroskopisi

ABSTRACT

Cold crack formation is one of the major challenges in welding of armor steels which is a special class of high strength steels family. Although the origin and the pathways leading to cold crack mechanism are not completely understood, it is a well-known fact that the existence of ambient hydrogen in steel alloy or weld pool plays the major role. Generally, it is accepted that steels with hydrogen content more than 5 ppm have high tendency in cold cracking. Having hydrogen content superior to this specific value may cause hairline cracks, hydrogen embrittlement or hydrogen blistering which result in catastrophic deviations in mechanical properties. On the other hand, Raman spectroscopy is a non-destructive testing method that is used to determine chemical composition and molecular strain in materials by utilizing phonon vibrations. In this study, Raman spectroscopy experiments have been performed on welded armor steels in order to analyze the bonding dynamics of carbon, hydrogen, oxygen, and nitrogen.

Keywords: Steel, hydrogen content, cold crack, Raman spectroscopy

** İletişim Yazarı

Geliş tarihi : 30.01.2016

Kabul tarihi : 15.03.2016

* 20-21 Kasım 2015 tarihlerinde Makina Mühendisleri Odası tarafından Ankara'da düzenlenen Kaynak Teknolojisi IX. Ulusal Kongre ve Sergisi'nde bildiri olarak sunulan bu metin, yazarlarınca Dergimiz için makale olarak yeniden düzenlenmiştir.

Durkaya, G., Kaplan, H., Çetin, B., Gürleyik, M., Pişkin, A. R., Ersoy, K., Meço, H. 2016. "Zırh Çeliklerinin Kaynağında Hidrojen İçeriğinin Raman Spektroskopisi Yöntemi ile Analiz Edilmesi," Mühendis ve Makina, cilt 57, sayı 674, s. 50-56.

1. GİRİŞ

Kaynaklı imalat, endüstriyel uygulamalarda kullanılan en yaygın birleştirme yöntemlerinden biridir. Kaynaklı birleştirme yöntemleri çelik, demir vb. metalik parçaların birleştirilmesinde kullanılabilirdiği gibi termoplastik, kompozit vb. gibi demir dışı (non-ferrous) malzemelerin birleştirilmesinde de sıklıkla kullanılmaktadır. Özellikle yapısal parçalar için kullanılacak metalik kaynak işlemlerinde, daha özel olarak çelikler içinse gazaltı kaynağı (MIG/MAG) en yaygın yöntemdir. 1930'larda keşfedilen bu kaynak yöntemi çelikler için en verimli birleştirme yöntemi olarak kabul edilmektedir [1].

Mühendislik tasarımlarında, bitmiş ürün üstündeki dayanım istekleri gün gittikçe artmaktadır. Tasarım mühendisleri sürekli olarak daha yüksek dayanıma sahip, bir başka deyişle, daha yüksek statik veya dinamik kuvvetlere dayanabilecek tasarım, malzeme ve birleştirme teknikleri üzerine çalışmaktadırlar. Diğer bir taraftan, temel olarak otomotiv sektöründeki zorlayıcı koşullar ve yönetmelikler, devamlı bir şekilde daha yüksek dayanımlı çeliklerin üretilmesini ve geliştirilmesini tetiklemektedir. Sektördeki güvenlik standartlarının artması, daha az emisyon oranına sahip olması açısından, daha hafif araçların üretilmek istenmesi, vb. nedenlerle uzun yıllardır, yüksek dayanımlı (mukavemetli) çelikler (Advanced High Strength Steels / AHSS) konusu araştırılmakta ve geliştirilmektedir [2]. Yeni geliştirilen bu yüksek mukavemetli çelikler her ne kadar önemli bir ilerleme potansiyeline sahip olsa da kaynaklı birleştirme anlamında yeni zorluklar da yaratabilmektedir. Örneğin otomotiv sektörü için geliştirilmiş olan TWIP çelikleri Mn, Si, Al gibi yüksek oranda içerdikleri alaşım elementleri nedeniyle kaynak performansları ciddi oranda düşüktür [2]. Aslında "kaynaklanamaz" çelik diye bir malzeme yoktur. Doğru metalurjik koşulların yerine getirilmesi şartıyla her çelik kaynaklanabilir. Ancak bu koşullar bazen o kadar çapraşık ve zorlu olabilir ki bunların pratikte uygulanması rasyonel olmaz [3].

Askeri kara araçları imalatı sektörü özelinde ise gerek balistik koruma, gerekse yüksek yapısal dayanım istekleri için yüksek mukavemetli çeliklerin tasarımlarda kullanımı olmazsa olmazdır. Aynı şekilde askeri kara araçlarının imalatında kullanılan kaynaklı birleştirmelerde balistik performansla ilgili istekler de mevcuttur. Bu tip uygulamalarda hem malzemenin hem de kullanılan dolgu malzemesinin ve ısı tesiri altındaki bölgenin (ITAB), şartnamelerde belirtilen dayanım değerlerini aynı anda sağlaması gerekmektedir.

2. YÜKSEK DAYANIMLI ÇELİKLERİN KAYNAĞINDAKİ TEKNİK ZORLUKLAR

Yüksek dayanımlı çelikler, özellikle ultra yüksek dayanımlı çelikler genel olarak yüksek oranda karbon içeriğine ve yo-

ğun olarak martensitik bir mikro yapıya sahiptir. Sahip oldukları yüksek karbon ve bazı alaşım elementleri nedeniyle eşdeğer karbon içeriği değerleri yüksektir. Yüksek eşdeğer karbon içeriği ve martensitik mikro yapı kaynak edilebilirlik için zorlayıcı etkiler yaratmaktadır. Soğuk çatlak (cold crack) oluşumu, martensitik yüksek dayanımlı çeliklerin kaynaklı birleştirilmesinde görülen en tipik hata biçimidir [4]. Soğuk çatlakların en kritik yanı, kaynaktan sonraki 48 saat içinde ortaya çıkabilme riskidir. Kaynakta soğuk çatlak oluşumu için 3 temel etkenin bir arada bulunması gereklidir:

1. Malzemedeki görece yüksek alaşım miktarı
2. Birleşim detayındaki hidrojen miktarı (nem, yağ, kir, pas, boya vb.)
3. Birleşimde kaynak sonrası oluşan kalıntı çekme gerilmeleri

Bu etkenlerden birincisine, tasarım istekleri ve son üründen beklentiler nedeniyle müdahale etmek mümkün olmamaktadır. Fakat malzemenin alaşım miktarına ve eşdeğer karbon içeriğine bağlı olarak ön ısı uygulayarak, soğuma hızını kontrol altına almak (azaltmak) ve hidrojenin ortamdaki uzaklaşması için yeterli zamanı sağlamak, soğuk çatlak oluşma riskini önemli ölçüde azaltacaktır. İkinci etkenin ortadan kaldırılması için, kaynak öncesi temizlik uygulamaları ile yabancı maddeleri uzaklaştırmak ve ön ısı ile hidrojen kaynağı olan nemi ortamdaki kaldırmak, soğuk çatlak oluşumunu önlemek için kritik öneme sahiptir. Etkenlerden üçüncüsü olan kalıntı gerilmeler, her ne kadar fiktürel metotları ve çeşitli imalat yöntemleri (dinamik kenetleme uygulamaları vb.) ile azaltılabilir de kaynak işlemindeki hızlı ve bölgesel ısınma-soğuma etkilerinden dolayı kaçınılmazdır. Fakat etkenlerden biri ve/veya birkaçı ortadan kaldırıldığında, soğuk çatlak riski büyük ölçüde azalmış olur. Bu nedenle zırh çelikleri gibi yüksek dayanımlı ve yüksek tokluk değerli çelikler, kaynak işlemi öncesinde, kaynak sonrası soğuma hızını azaltma amacıyla ön ısıtma (pre-heating) işlemine tabii tutulur [2]. Soğuk çatlakları önlemek için değişik çeliklere uygulanması gereken ön ısıtma sıcaklık değerlerine ilişkin tavsiyeler FD CEN ISO/TR 17844 numaralı teknik rapor dokümanında yer almaktadır [5].

Soğuk çatlamanın en büyük nedeni olan hidrojen gevrekliğini açıklayan birçok mikroyapısal mekanizma literatürde tanımlanmıştır. Fakat hangi mekanizma ile tanımlanırsa tanımlansın, hidrojen içerik miktarı, hidrojenin kaynağı ve sisteme uygulanan gerilmelere göre karşılaşılan malzeme davranışı farklı olabilmektedir [6]. Hidrojen içeriği kadar bunun hangi aşamada malzeme sistemine girdiği (çelik üretiminde sıvı haldeyken, kaynak işlemi esnasında vb.), malzemenin mikroyapısı (düşük karbonlu çelik, martensitik çelik, paslanmaz çelik vb.), malzemenin maruz kaldığı dış kuvvetler de malzemenin servis ömrü boyunca ortaya koyacağı me-

kanik performansı için önemlidir. Değişik malzemeler için deneylerle tespit edilmiş kritik hidrojen içerikleri literatürde mevcuttur. Örneğin vakum ortamında işlenmiş bir çelik için gevrekliği ortadan kaldıran hidrojen içerik değerinin 2 ppm olduğu tespit edilmiştir. Aynı şekilde belirli bir kimyasal kompozisyondaki %0,005 oksijen ve %0,005 kükürt içeren bir jant çeliği içinse kritik hidrojen içeriği sıvı hal için 1,9 ppm, katı hal içinse 1,06 ppm olabilmektedir [7]. Bu konu özelinde çeşitli kalitedeki paslanmaz çelikler için de önemli çalışmalar yapılmıştır. Örneğin matematiksel modellemeler ve deneysel çalışmalar ile AISI 430 paslanmaz çelik için sünek mikro çatlak davranıştan, gevrek (brittle) davranışa geçişi sağlayan hidrojen miktarının $1,45 \cdot 10^{-5}$ mol/cm³ olduğu tespit edilmiştir [8]. Fakat genel ve çok hassas olmayan bir yaklaşımla, çeliklerde 5 ppm değerinin üzerindeki hidrojen içeriğinin soğuk çatlak oluşumu için ciddi bir risk faktörü oluşturduğu belirtilebilir.

Açıklanmaya çalışılan tüm bu nedenlerden ötürü, yüksek mukavemetli çeliklerin kaynaklı birleştirmelerinde özellikle kaynak dikişi ve bu bölgeye yakın bölgelerde hidrojen içeriğinin tespit edebilmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada, Raman spektrometresi ölçümleri alınarak çelik, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve kaynak (füzyon) bölgesinde kimyasal analiz yapılarak hidrojen içeriği tespit edilmesine dönük analizler yapılmıştır.

3. RAMAN SPEKTROSKOPİ

Raman spektrometresi ise temel olarak fonon titreşimleri ile ışığın etkileşimini analiz ederek malzemenin kimyasal özelliklerini tespit etmeye yarayan tahribatsız bir yöntemdir. Yöntem, 1928 yılında Hintli fizikçi C. V. Raman tarafından keşfedilmiştir. C. V. Raman, kendisine 1931 yılında Nobel Fizik Ödülü'nü kazandıran çalışmasında, moleküllerle etkileşim sonucunda saçılan ışığın dalga boyunun büyük bir kısmının gelen ışık ile aynı dalga boyunda olduğunu, çok az bir kısmının ise farklı dalga boylarına kaydığını ve bu kaymanın saçılmaya neden olan moleküllerin kimyasal yapısına bağlı olduğunu bulmuştur. Işığın farklı dalga boylarına kayması "Raman Saçılması" olarak adlandırılır ve Raman saçılmasının fiziksel temeli, ışık demetini oluşturan taneçikler ile ortamda bulunan moleküllerin çarpışması ile oluşan elastik olmayan saçılmadır. Elastik olmayan saçılma ile kastedilen fotonlarla moleküllerin çarpışması sonucunda fotonların enerjisinde, dolayısıyla da dalga boyunda değişim olmasıdır. Işık saçılması sırasında saçılan ışığın enerjisi ve moleküller ile etkileşen foton enerjisi eşit ise bu tür saçılmaya da elastik saçılma (Rayleigh Saçılması) adı verilir. Rayleigh saçılmasında, Raman saçılmasına göre $10^4 - 10^5$ kez daha şiddetli saçılma oluşur. Raman saçılması sonrasında toplam enerji korunduğu için fotonun kaybettiği ya da kazandığı enerji,

molekülün titreşim enerji düzeyleri arasındaki enerjiye eşit olmalıdır. Fotonun kazandığı ya da kaybettiği enerji miktarı belirlenerek moleküllerin titreşim enerji düzeyleri hakkında bilgi edinilebilir [9]. Raman spektrometresi özellikle ince film kaplamaların karakterizasyonunda yoğun olarak kullanılmaktadır [10].

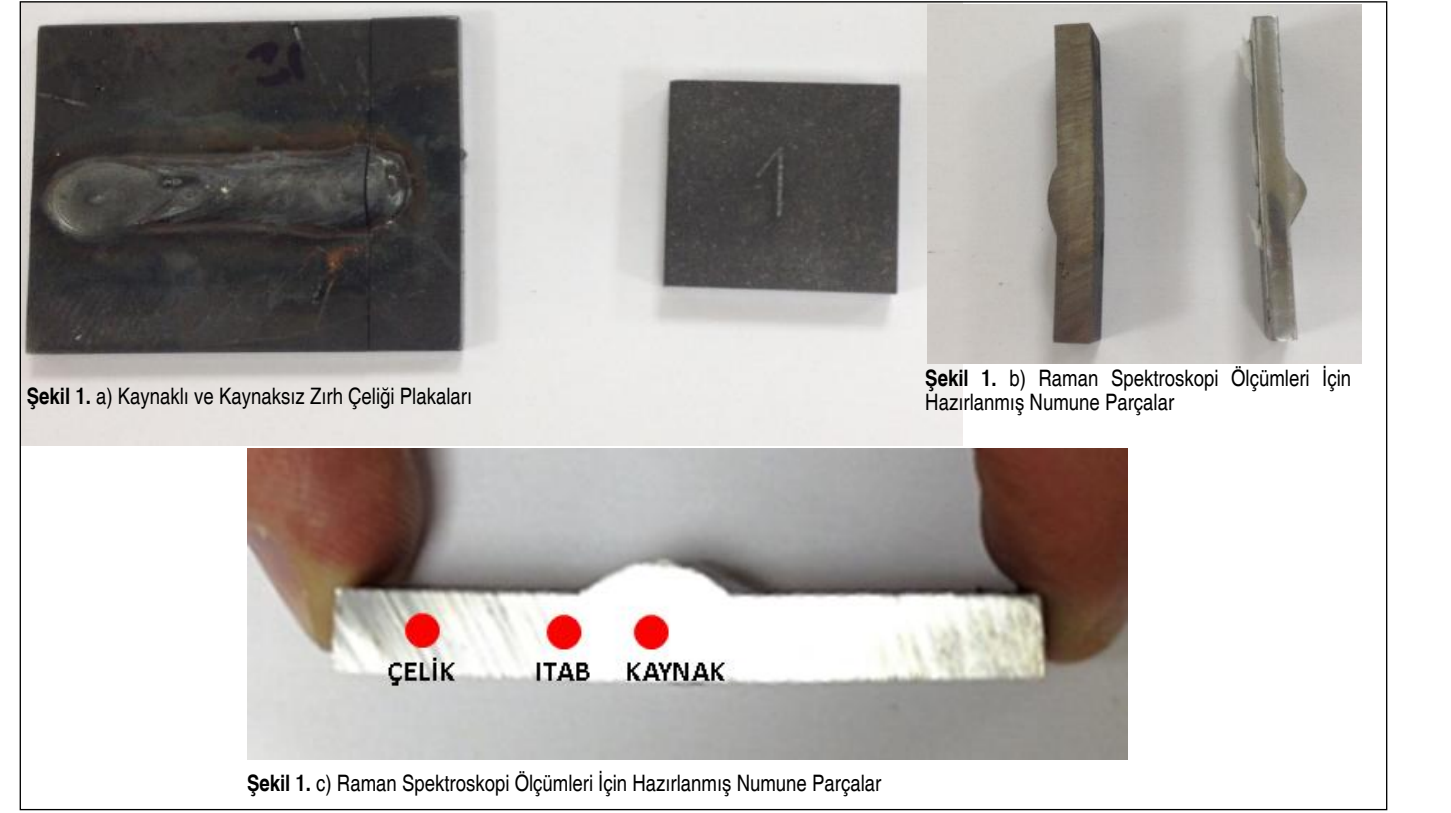
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalar, Atılım Üniversitesi Nanoskopi Laboratuvarı'nda metal parçaların analizi için özel olarak geliştirilen Raman spektrometre cihazı kullanılarak yapılmıştır. Bu deneylerde incelenecek kaynak bölgelerindeki yüzeylerin, kimyasal yapısını değiştirmemek için numuneler üzerinde asgari düzeyde işlem yapılmış, numuneler sadece kesme operasyonundan geçirilmiştir. Çünkü bu aşamada henüz, hassas sıvı ile zımparalama ve bakalitleme gibi standart metalografik numune hazırlama işlemlerinin incelenecek yüzeydeki kimyasal etkilerine karşı bir bilgi mevcut değildir. Standart metalografik örnek hazırlama işlemlerinin malzemeye etkileri üzerine karşılaştırmalı analizler daha sonraki çalışmalarda yapılacaktır.

Hazırlanan kaynaklı ve kaynaklız ArmoX 500T (MIL-DTS-46100, Class I) zırh çeliği plakalar Şekil 1a ve 1b'de gösterilmektedir. Şekil 1a'da gösterilen kaynaklı plakalar, SiC testere ile kesilerek Şekil 1b'de gösterilen numuneler hazırlanmış, daha sonra da Raman spektroskopik analizleri gerçekleştirilmiştir. Aynı numuneler, standart metalografik işlemlerle de hazırlanarak bakalite yerleştirilmiş ve sonraki deneyler için hazırlanmıştır. Şekil 1c'de ise deneylerin yapıldığı parça kesiti ve ölçüm noktaları gösterilmektedir. Numuneler üzerinde 3 ayrı noktada ölçümler yapılmıştır: 1) Çelik: Kaynaktan etkilenmemiş bölge, 2) ITAB: Isı tesiri altındaki bölge, 3) Kaynak: Kaynak bölgesi.

Gazaltı kaynak işlemi için ER 110 S-G kaynak teli kullanılmıştır. ArmoX 500T çeliğinin mekanik özellikleri ve kimyasal kompozisyonu Tablo 1 ve 2'de gösterilmiştir. ER 110 S-G kaynak teline ait kimyasal kompozisyon değerleri Tablo 3'te gösterilmiştir. Zırh çeliği plakalarının gazaltı kaynağında kullanılan kaynak parametreleri ise Tablo 4'te belirtilmiştir.

Standart Raman spektroskopi sistemleri, mikroskopi uygulamaları için geliştirilmiş ve yoğun olarak kimyasal, biyolojik ve küçük katı örnekler için tasarlanmıştır. Dolayısıyla, direkt sanayi örneklerinde kullanımları zordur. Bu sebepten dolayı, sanayi örneklerini analiz edebilecek özel bir metalurjik Raman spektroskopi sistemi tasarlanmıştır. Bu sistem, 50mW, 532 nanometre dalga boyunda bir lazer kaynağını Raman uyarım kaynağı olarak kullanmakta ve değişik büyüklükte ve geometride örneklerin kolay analizine olanak sağlamaktadır.



Şekil 1. a) Kaynaklı ve Kaynaklız Zırh Çeliği Plakaları

Şekil 1. b) Raman Spektroskopi Ölçümleri İçin Hazırlanmış Numune Parçaları

Şekil 1. c) Raman Spektroskopi Ölçümleri İçin Hazırlanmış Numune Parçaları

Tablo 1. ArmoX 500T Çeliğinin Mekanik Özellikleri

Sertlik (HBW)	Akma Mukavemeti (MPa)	Kopma Mukavemeti (MPa)	Uzama (%) A ₅	Uzama (%) A ₅₀
480-540	1250	1450-1750	%8	%10

Tablo 2. ArmoX 500T Kimyasal Kompozisyonu

C (max %)	Si (max %)	Mn (max %)	P (max %)	S (max %)	Cr (max %)	Ni (max %)	Mo (max %)	B (max %)
0,32	0,4	1,2	0,015	0,010	1,0	1,8	0,7	0,005

Tablo 3. ER 110 S-G Kimyasal Kompozisyonu

C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo 0,07
%0,07	%1,60	%0,45	%0,30	%2,10	%0,40

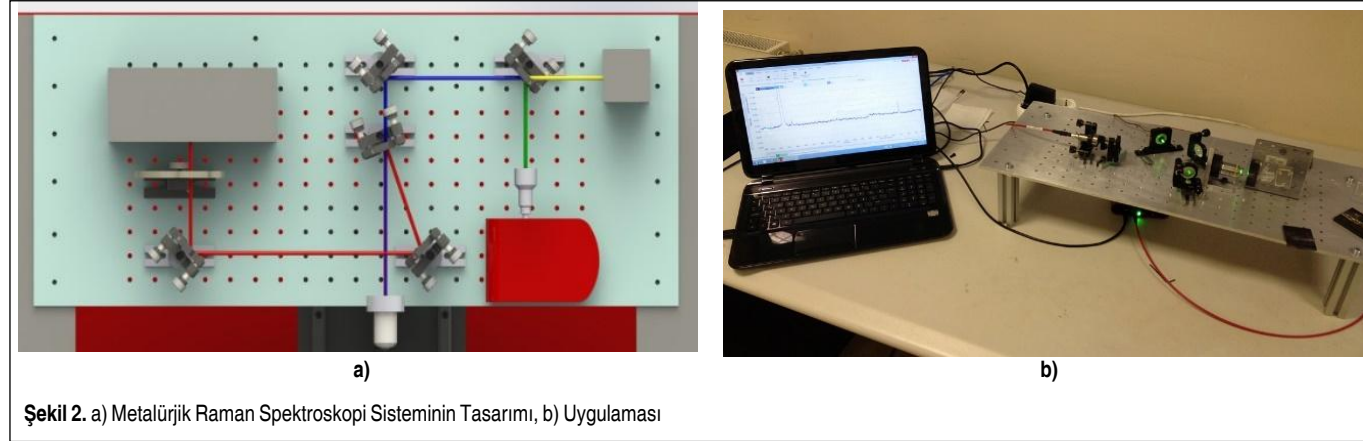
Tablo 4. Gazaltı Kaynak Parametreleri

Volaj (V)	Akım (A)	Kaynak Teli Tipi	Tel Hızı (m/dk)	Tel Çapı (mm)
33-34	190-200	ER 110 S-G	6,50	1,20

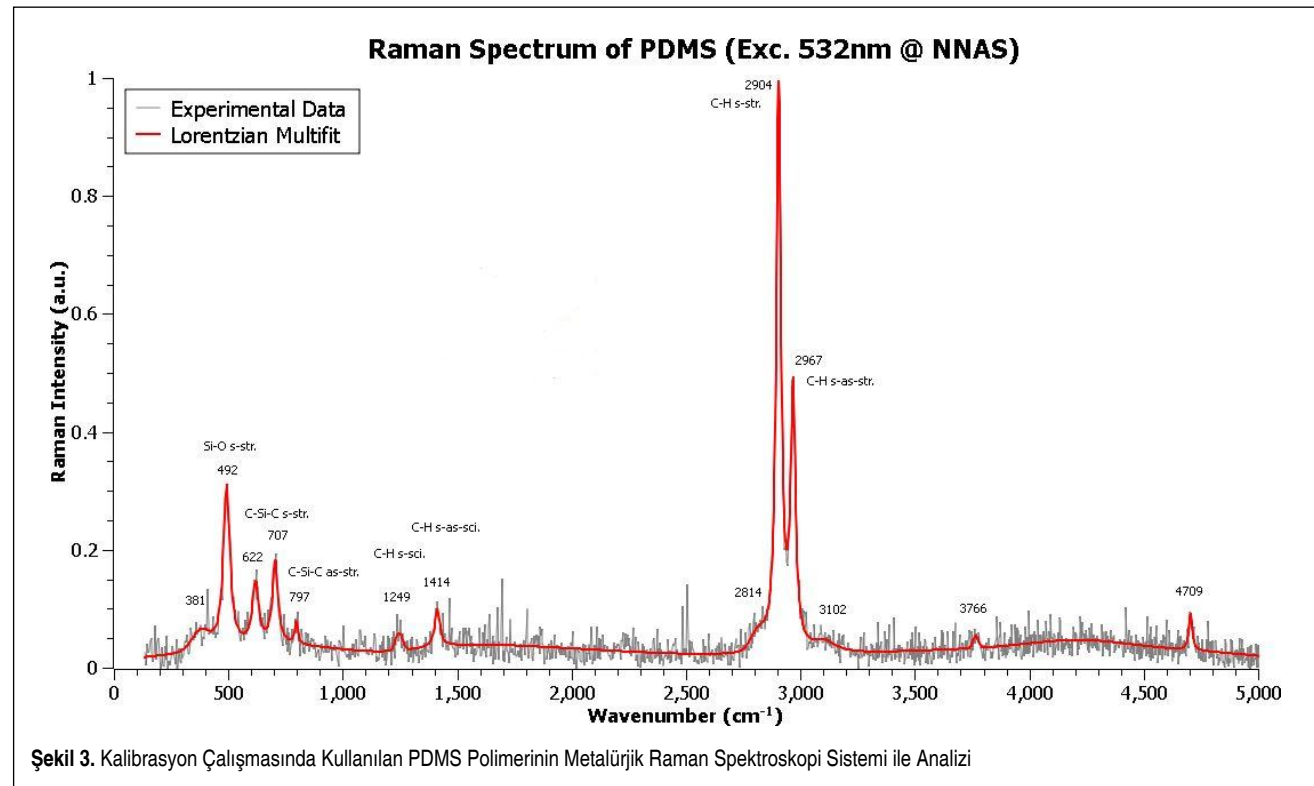
Şekil 2a'da sistemin tasarımı, Şekil 2b'de ise uygulaması gösterilmektedir. Uygulama resminde görüldüğü üzere, metalurjik Raman spektroskopi sistemi az yer kaplayan ve portatif uygulamaları mümkün kılacak bir şekilde tasarlanmıştır.

Metalurjik Raman spektroskopi sisteminde kullanılan fiber spektrometre ile 532 nm uyarımda, 500-5000 cm⁻¹ enerji aralığı, 4 cm⁻¹ spektral çözünürlükte gözlemlenmektedir. Böylece tüm katı ve organik moleküllerin Raman spektral çizgilerinin

görüntülenmesi mümkündür. Geliştirilen metalurjik Raman spektroskopi sisteminin doğrulama çalışmalarında PDMS polimeri kullanılmıştır ve elde edilen kalibrasyon sonuçları Şekil 3'te gösterilmektedir. Görüldüğü üzere, PDMS malzemesinin Raman spektrumu literatürle uyumlu bir şekilde elde edilmiş ve malzemeye ait H, C, O, Si içerikli moleküler bağlar doğru spektral pozisyonlarda başarı ile tespit edilmiştir. Burada en belirgin moleküler titreşim modu, C-H simetrik



Şekil 2. a) Metalürjik Raman Spektroskopi Sisteminin Tasarımı, b) Uygulaması



Şekil 3. Kalibrasyon Çalışmasında Kullanılan PDMS Polimerinin Metalürjik Raman Spektroskopi Sistemi ile Analizi

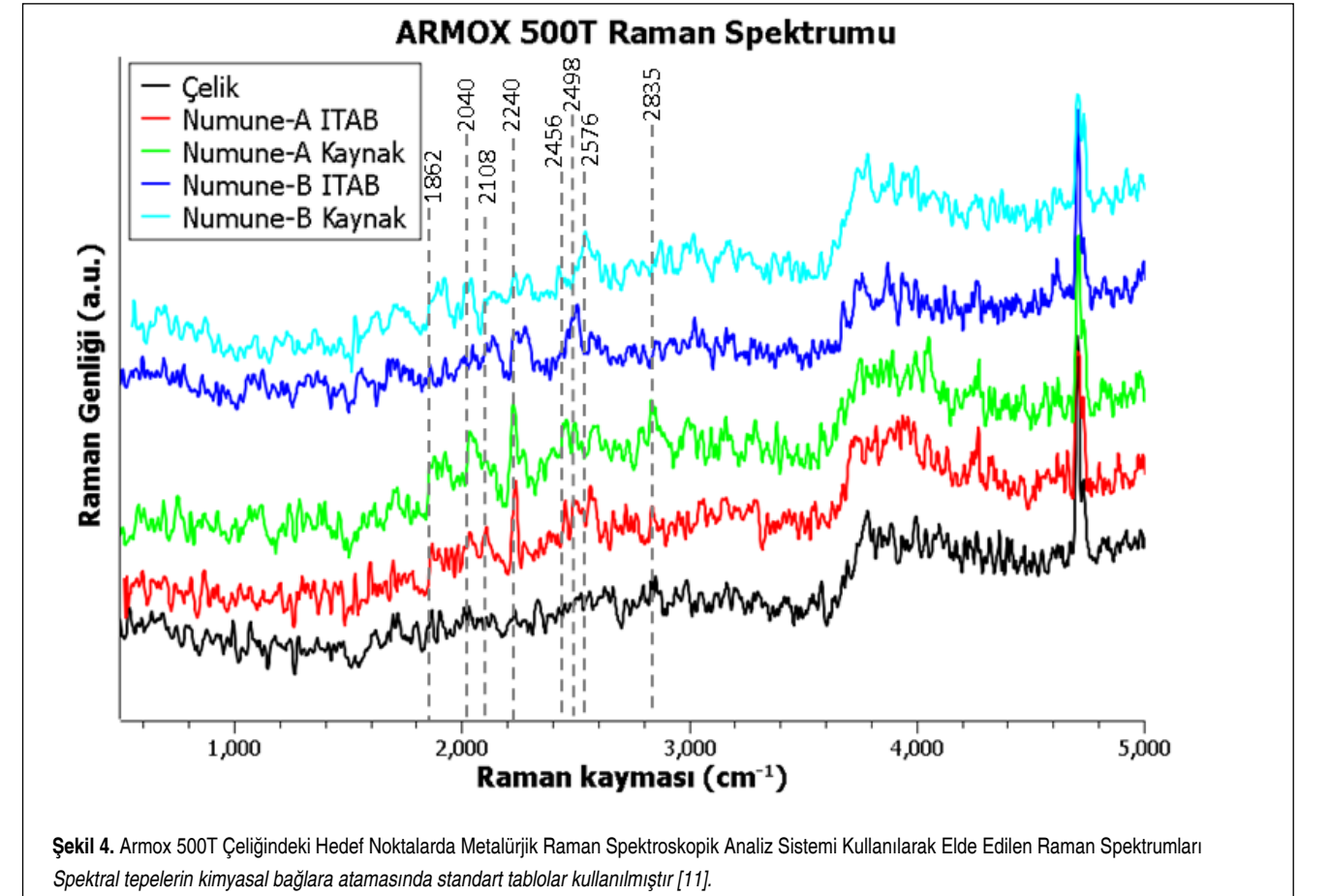
gerilim titreşimi 2904 cm^{-1} spektral pozisyonunda elde edilmiştir. Kalibrasyon testlerinin devamında hazırlanan çelik örnekleri üzerine yapılan çalışmaların sonuçları bir sonraki kısımda verilmektedir.

5. DENEY SONUÇLARI VE ÖLÇÜMLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Metalürjik Raman spektroskopi sistemi ile Şekil 1c'de gösterilen ARMOX 500T üzerinde belirtilen hedef noktalarda yapılan ölçümlerinin ilk sonuçları Şekil 4'te sunulmaktadır. Üç hedef noktada elde edilen spektrumlar tek grafikte birleştirilerek üst üste getirilmiştir. Bu grafikte, sol eksen değerleri

Raman genliğine karşılık gelirken, rastgele (arbitrary) ünite de verilmektedir. Tüm spektrumlar aynı deneysel parametrelerle elde edilmiştir. Grafiğin yatay eksenine ise dalga numarası cinsinden 532 nm Raman uyarımına göre enerji kaymasını göstermektedir. Bu çalışmada, hedeflenen amaca yönelik ilgili kayma tepeleri kesikli çizgilerle belirlenmiştir. Bu tepeler $1500\text{-}3000 \text{ cm}^{-1}$ enerji aralığında bulunmaktadır. 3500 cm^{-1} 'in üzerindeki tepe yapıları ise henüz incelenmemiştir. Bunlar muhtemelen 3000 cm^{-1} altı tepelerin moleküler üst titreşim tonları olabilir.

Şekil 4'te ayrıca, kaynak öncesi yüzey temizleme ve ön ısıtma uygulanmış numune (Numune-A) ile kaynak öncesi ön



Şekil 4. ArmoX 500T Çeliğindeki Hedef Noktalarda Metalürjik Raman Spektroskopik Analiz Sistemi Kullanılarak Elde Edilen Raman Spektrumları. Spektral tepelerin kimyasal bağlara atamasında standart tablolar kullanılmıştır [11].

ısıtma ve yüzey temizleme işlemleri uygulanmamış numune (Numune-B) ait sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Elde edilen ilk sonuçlara göre, kaynak operasyonu ile çelikten kaynak bölgesine doğru kimyasal değişimler gözlemlenmektedir. Buna göre, $1862\text{-}2835 \text{ cm}^{-1}$ spektral aralığında çelik üzerinde belirli olarak görülmeyen bazı tepeler kaynak etkisi ile ortaya çıkmaktadır. İşaretlenen tepelerden ilki, 1862 cm^{-1} enerji kaymasındadır ve Numune-A'nın ITAB ve kaynak bölgesinde belirginleşmektedir. Numune-B'de, ise ITAB bölgesinde belirgin olmayan bu tepe, sadece kaynak bölgesinde, görülmektedir. Bu spektral kayma bölgesi $\text{C}=\text{O}$ moleküler bağına denk gelmektedir. Dolayısıyla, Numune-A ve Numune-B'de kaynak bölgesine doğru $\text{C}=\text{O}$ kimyasal yapılarının arttığı gözlenmektedir. Bu bağlar, Numune-A ve Numune-B'ye ait ITAB bölgelerinde ise ters tavır sergilemekte ve Numune-B'nin ITAB bölgesinde görülmemektedir. Diğer yandan, yukarı enerji seviyelerine doğru bulunan 2 tepe bölgesi ($2040, 2108 \text{ cm}^{-1}$) $\text{C}=\text{C}$ moleküler bağının gözlemlendiği bölgeye denk gelmektedir. Bir önceki gözleme benzer şekilde hem Numune-A hem Numune-B'de kaynak bölgesine doğru $\text{C}=\text{C}$ kimyasal yapılarının arttığı gözlenmektedir.

Bu artış, Numune-A'da daha da belirgindir. Kaynak etkisi ile özellikle Numune-A'da en belirgin ortaya çıkan tepelerden birisi ise 2240 cm^{-1} 'de yer almaktadır ve bu spektral bölge $\text{C}\equiv\text{N}$ moleküler bağına denk gelmektedir. Bu tepe, Numune-B'nin ITAB ve kaynak bölgesinde belirgin olarak görüldüğünden, kaynak yapılması ile çevre bölgede Karbon ve Azot üçlü bağlarının artışı göstermektedir. Hâlbuki benzer yapılanma Numune-B'de belirgin olarak ortaya çıkmamaktadır. İzleyen diğer 3 tepe ise ($2456, 2498, 2576 \text{ cm}^{-1}$) S-H moleküler bağlarının gözlemlendiği bölgeye denk gelmektedir ve ITAB, kaynak bölgelerinde gözlemlenmektedir. Buna göre kaynak yapılması ile Sülfür ve Hidrojen bağları kaynak bölgesinde artmaktadır. Bu artış özellikle Numune-B'de belirgin olarak ortaya çıkmaktadır. Son olarak Numune-A'nın kaynak bölgesinde en belirgin olarak görülen tepe, 2835 cm^{-1} noktasındadır. Bu Raman enerji kayması C-H bağına denk gelmektedir. Sülfür ve Hidrojen oluşumuna benzer olarak, kaynak ile birlikte Karbon Hidrojen bağı da oluşmaktadır. Fakat, S-H'den farklı olarak C-H bağı oluşumu sadece kaynak bölgesi üzerinde gözlemlenmektedir. Bu etki, Numune-B için belirgin değildir.

Metalürjik Raman analiz sistemi kullanılarak kaynaklı AR-

MOX 500T üzerinde yapılan deneylerin ilk sonuçlarına göre, kaynak yapılması ile bu bölgeye lokalize olmuş Karbon-Oksijen çiftli bağ oluşumları, ITAB bölgesinde de gözlenen Karbon-Karbon, Karbon-Nitrojen üçlü bağ ve Sülfür-Hidrojen bağ oluşumları tespit edilmektedir. Numune-A'da, Numune-B'ye göre Karbon Nitrojen üçlü bağ oluşumu yükseltgenmiştir. Numune-B'de ise S-H bağ oluşumları daha belirgin olarak gözlenmiştir. Diğer yandan, sadece Numune-A'nın kaynak bölgesinde Karbon Hidrojen bağ oluşumu belirlenmiştir. Özellikle kaynak yapılması ile S-H ve C-H bağlarının oluşumunun gözlenmesi, malzemenin içindeki Hidrojenin kimyasal faz değişimine uğraması veya dışarıdan Hidrojen karışmasına karşılık gelebilir. Bunun sebeplerini araştırmak için daha ayrıntılı çalışmalar yapılacaktır.

6. SONUÇ

Metal analizi için özel olarak geliştirilen metalurjik Raman spektroskopik analiz sistemi kullanılarak kaynaklı ARMOX 500T çeliği üzerinde deneyler yapılmıştır. Elde edilen ilk sonuçlara göre, C=O, C≡C, C≡N, S-H, C-H bağlarının kaynak bölgesindeki çevresel değişimi, kaynağın kimyasal kompozisyonu hakkında bilgi vermektedir. Karbon-Oksijen ve Karbon-Nitrojen bağları ön ısıtma ve yüzey temizleme uygulanmış kaynaklı numunede daha belirgin gözlenirken, S-H bağları ön ısıtma ve yüzey temizleme uygulanmamış kaynaklı numune üzerinde daha belirgindir. C-H bağları ise sadece ön ısıtma ve yüzey temizleme uygulanmış kaynaklı numunede, kaynak bölgesinde gözlenmektedir. Bu bağlardaki Hidrojen, malzemenin kaynak öncesi içeriğinde gaz veya çeşitli kimyasal bağ yapıları halinde bulunabilecekken kaynak esnasında da yapıya giriyor olabilir. Deneylerimiz göstermektedir ki, geliştirdiğimiz sistem ile malzeme içindeki Hidrojenin tespit edilmesi ve kimyasal davranışının saptanması mümkünken, çeşitli deneylerle kimyasal kompozisyonun malzeme özelliklerine etkisini araştırmak da mümkün olacaktır. Daha sonraki çalışmalarda yeni deneysel çalışmalar yapılarak buradaki bulgular tekrarlanacak ve çelik üzerinde hidrojen etkisini anlamak için ayrıntılı çalışmalara devam edilecektir. Ayrıca çelik üretim süreçleri ve kaynak süreçleri, kimyasal kompozisyon açısından incelenerek hidrojen etkisinin hangi aşamada

ve miktarlarda malzemeye dahil olduğunun araştırılmasına yönelik çalışmalar yapılacaktır.

KAYNAKÇA

1. **Goo, B. C., Seo, J. W., Yang S.Y.** 2010. "Analysis of Welding Residual Stresses and Its Applications," Finite Element Analysis, D. Moratal (Ed.), InTech, Croatia.
2. **Billur, E., Çetin, B., Gürleyik, M.** 2016. "New Generation Advanced High Strength Steels: Developments, Trends and Constraints," International Journal of Scientific and Technological Research vol 2, no.1, p. 50-62.
3. **Oğuz, B.** 1985. Karbonlu ve Alaşımli Çeliklerin Kaynağı, OERLIKON Yayını, online, http://www.oerlikon.com.tr/files/karbonlu_celiklerin_kaynagi.pdf, son erişim tarihi: 10.11.2015.
4. **Pokhodnya, I., K., Shvachko, V., I.** 1996. "Cold Cracks in Welded Joints of Structural Steels," Material Science, vol. 32, no. 1, p. 45-55.
5. **Dainelli, P., Maltrud, F.** 2012. "Management of Welding Operations with High Strength Steels," Soudage et Techniques Connexes, p. 37-42.
6. **Birnbaum, H. K.** 1986. "Hydrogen Embrittlement," Encyclopedia of Materials Science and Engineering, M. B. Bever, (Ed.), Pergamon Press, Oxford, p. 2240.
7. **Shirband, Z., Shishesaz, M. R., Ashrafi, A.** 2011. "Hydrogen Degradation of Steels and Its Related Parameters, A Review," Phase Transitions, vol. 84, nos. 11-12, p. 924-943.
8. **Yen, S. K., Tsai, Y. C.** 1996. "Critical Hydrogen Concentration for the Brittle Fracture of AISI 430 Stainless Steel," Journal of the Electrochemical Society, vol. 143 (9), p. 2736-2741.
9. **Ersöz, A.** (Ed.) 2010. Aletli Analiz Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir, s. 114.
10. **Cetin, B., Durkaya, G., Kaplan, H.** 2015. "A New Generation, Promising Engineering Material: Cubic Boron Nitride (c-BN)," Hittite Journal of Science and Engineering, vol. 2 (1) p. 85-90.
11. <http://www.horiba.com/fileadmin/uploads/Scientific/Documents/Raman/bands.pdf>, son erişim tarihi: 10.11.2015.