

Sıcak Elaman Alın Kaynak Yöntemi ile Birleştirilen PE Doğalgaz Borularının Güvenirliklerinin Araştırılması

Investigation of Reliability of PE Plastic Gas Pipe Joined With Butt Fuzzy Method

Adnan AKKURT* ve İbrahim ERTÜRK

Gazi Üniversitesi, Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fak., Endüstriyel Teknoloji Eğt. Bölümü, 06830, Gölbaşı, Ankara

Geliş Tarihi/Received : 14.12.2009, Kabul Tarihi/Accepted : 12.03.2010

ÖZET

Enerji hem gerekli hem de stratejik önemi olan özelliklere sahiptir. Tüm dünyada tüketilmekte olan enerjinin % 26'lık bir bölümünü doğalgazın oluşturduğu bilinmektedir. Bu kadar yoğun kullanılan doğalgaz transferinde, kullanılmakta olan polietilen esaslı borular ve bağlantı elamanlarının birleştirilme işlemlerinde etkin olan birçok parametre söz konusudur. Bu parametrelerin yanlış seçimleri beraberinde geri dönülmez büyük hasarlara yol açacağı tartışılmaz bir gerçektir. Bu çalışmada doğalgaz boruları (Pe 80 ve Pe 100) sıcak alın kaynağı ile birleştirilerek standartlarda belirlenmiş olan parametre ve şartlarda testler uygulanmıştır. Elde edilen veriler ışığında plastik boru birleştirme standartlarda belirlenmiş olan özellik ve değerlere sahip olup olmadığı araştırılmıştır. Bu araştırmalar plastik boru birleştirme işlemleri için sıcak alın kaynak yönteminin uygun ve kullanılan diğer yöntemlere göre daha ucuz bir yöntem olduğu görülmüştür. Ayrıca yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan boru yoğunluğuna bağlı olarak kaynak kalitesinde değişimler gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Plastik kaynak, Plastik birleştirme, Plastik boru kaynak güvenirligi.*

ABSTRACT

Energy has both vital and strategically important features. It is known that 26% of the energy consumed worldwide consists of natural gas. Since it is used so commonly, there are lots of parameters related to the junction process of polyethylene based pipes and fitting members used in natural gas transfer. There is no doubt that inappropriate choices of these parameters will cause substantial damages of no return. In this study, natural gas pipes (Pe 80 and Pe 100) are joined by hot butt-welding and some tests are performed in accordance with the parameters and conditions determined by standards. In light of data collected, it is analyzed if hot butt-welding has the necessary characteristics to meet the standards for plastic pipe junction. The researches revealed that hot butt-welding method is a valid method for plastic pipe junction, and cheaper than other methods used. Also, during the experimental studies, changes in welding quality are observed depending on the pipe density.

Keywords: *Plastic welding, Plastic fitting, Plastic pipe welding reliability.*

* Yazılan yazar/Corresponding author. E-posta adresi/E-mail address : aakkurt@gazi.edu.tr (A. Akkurt)

1. GİRİŞ

Malzeme teknolojisindeki gelişmeler ile birlikte kolay şekillendirilebilen, çevresel çalışma şartlarına karşı en üst seviyede dayanabilen ve aşınma dirençleri yüksek olan malzemeler tercih edilmektedir. Bununla birlikte, plastik ve kompozit malzemelerin kullanımı her geçen gün yaygınlaşarak, ahşap, metal, seramik vb farklı özelliklerdeki malzemelerin yerini almaktadır. Plastik malzemelerin endüstride ve günlük yaşamımızın her noktasında kullanımları birçok problemi de beraberinde getirmişlerdir. Bunların en önemli olanı insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileridir. Bu yüzden plastik malzeme üretimleri diğer malzeme türlerine oranla daha sıkı kalite standardına bağlanmıştır. Özellikle gıda tüzüğüne ve DIN, ISO, TSE, EN vb. standartlarına uygun olmayan malzemeler kullanılmamalıdır. Böylelikle uzun ömürlü, çevre dostu ve insan sağlığına zarar vermeyen plastik malzemeler kullanılmış olacaktır (Anık v.d., 1994; Jim Craig, 2005). Endüstride kullanılmakta olan plastik malzemeler çok farklı yöntemlerle üretilmektedir. Fakat bazı parça formları mevcut yöntemlerle üretilmemekte yada zaman ve maliyet açısından tercih edilmemektedirler. Bu tür parçaların kaynaklı birleştirilerek oluşturulması çok daha verimli olabilmektedir (Ogorkiewicz, 1970).

1. 1. Plastik Malzemelerin Kaynak Edilebilme Özellikleri

Plastik malzemelerin kaynağında, malzeme özellikleri, çalışma koşulları, zamana bağlı özelliklerindeki değişimler, kaynak sonrası sertleşme eğilimi, malzemenin kimyasal ve ısı direncinin yanı sıra işlem güvenliği ve işlem sonrası güvenilirlik ve bütün bunların dışında ekonomiklik göz önünde tutulmalıdır (GEV – 2009; ASTM D2657-97 2002). Belirtilmiş olan bu özellikler termoplastik malzemelerde mevcuttur. Bunun dışında kalan plastik malzemelere kaynak işi uygulanamamakta yada birleştirilmiş olan parçalardan hedeflenen verim alınamamaktadır. Termoplastiklerin dışında kalan plastik malzemelerin birleştirilmesinde yapıştırma veya mekanik elamanlarla birleştirilme yöntemleri kullanılmaktadır (Jun and Grimm, 1998).

Plastik malzemelerin kaynağında kaynak dikişinin çevresinde ısıdan etkilenmiş bölge oluşur. Kaynak sırasında kullanılan basınç ve polimerin akışı sonucunda normal olarak kaynak bölgesinde kristal mikroyapıların çeşitli türleri oluşur. Bu durum örneğin polipropilen gibi yarı kristalin plastiklerde sıkıştırılmış akış ve hızlı soğuma da belirli bir miktarda kristal yapıların oluşmasına yol açar. Metallerde olduğu gibi, ısıdan etkilenmiş bölge ana malzemedan daha zayıf olur. Isıdan etkilenmiş bölgedeki artık kaynak gerilmelerinden dolayı, agresif sıvılar ve çözücülerin etkisiyle korozyon oluşumu bu bölgede daha hızlı olacaktır. Ergitilmiş metaller kaynak banyosuna rahat

akarak kaynak ağzını doldururken, viskoz akışkan olan plastiklerde malzeme kaynak yapılan yere bastırılarak ya da itilerek dolgu yapılır. Bu şekilde uygulanan basınçlarla akış yönündeki zincirlerin yer değiştirmesi ile karşılaşılır. Bu da birleşme hattı boyunca anizotropiye neden olur. Örneğin, bunun sonucunda birleşme hattı düzleminde enlemesine olan düzleme nazaran daha düşük çentik darbe veya çekme mukavemeti elde edilir (GEV– 2009; Jun and Grimm, 1998; Ziegler, 2004).

1. 2. Plastik Malzemelere Uygulanan Kaynak Yöntemleri ve Etkin Parametreleri

Termoplastik malzemelere uygulanan başlıca kaynak yöntemleri;

- Sıcak Eleman (Alın) Kaynağı,
- Sıcak Gaz Kaynağı,
- Ekstrüzyon Kaynağı,
- Elektrofüzyon (Elektro Eritme) Kaynağı,
- İmplant Endüksiyon (Elektro magnetik) Kaynağı,
- İnfrared ve Lazer Kaynağı,
- Dirençli İmplant Kaynağı,
- Ultrasonik Kaynak,
- Doğrusal ve Çevresel Titreşimli Kaynak,
- Spin (Sürtünme) Kaynağı,
- Radyo Frekans Kaynağı,
- Mikrodalga Kaynağı.

Plastiklerin kaynağında kullanılan bu yöntemlerin her birinin bir diğerine göre üstünlükleri ve zayıf yönleri mevcuttur. Polietilen (PE) Doğalgaz borularının birleştirilmesinde sıcak eleman (alın) kaynak yöntemi ve elektrofüzyon (elektro ergitme) kaynak yöntemi yoğun kullanılan boru kaynak yöntemleridir. Plastik kaynak yöntemlerinin tamamında hedeflenen sonucun elde edilebilmesi her şeyden önce aşağıdaki parametrelerin doğru seçilmesine bağlıdır.

1. 2. 1. Sıcaklık

Kaynak edilecek dış yüzeyler ısı ile (sıcak eleman, sıcak gaz, sürtünme) yumuşak kıvama getirilir. Plastiklerin kötü ısı iletkenliklerinden dolayı doğrudan alev tercih edilmez zira, plastik derinlemesine ısıtılmadan yanmaya başlar. Benzer şekilde ısınmış plastikler basınçlı hava veya su ile ani soğutulurlarsa kaynak bölgelerinde ani gerilmeler oluşur.

1. 2. 2. Basınç

Erimiş plastik viskoz olduğundan yani rahat akamadığından birbiri içinde kayan liflerin bir basınç ile desteklenmesi gereklidir.

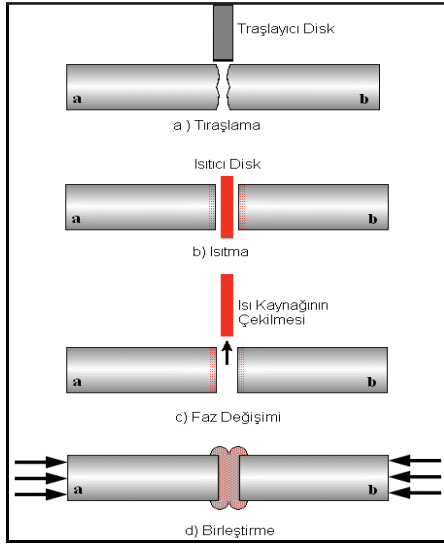
1. 2. 3. Zaman

Plastik malzemelerin ısı iletkenliklerinin çok düşük olmasından dolayı ısı girdisi süresi ve soğuma süresi çok dikkatli ayarlanmalıdır. Kaynak ısısının

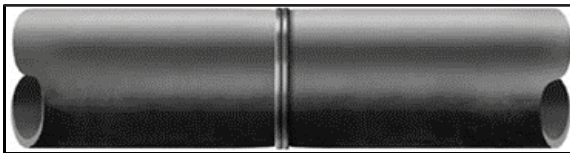
uzun süre ortamda kalması ısıl hasarlara yol açar. Plastiklerin ısıtma ve soğutma sırasındaki genleşmeleri ve büzülmeleri metallere göre biraz daha fazla olduğundan oluşabilecek sorunlara dikkat edilmelidir (GEV-2009; Steven v.d., 2009).

2. SICAK ELAMAN (ALIN) KAYNAĞI

Sıcak elaman alın kaynağı yöntemi plastiklerin birleştirilmesinde kullanılan en basit, güvenilir, sağlam ve ekonomik bir yöntem oluşu, en çok tercih edilen yöntemlerden olmasının başlıca sebebidir. Bu yöntemde kaynak ile birleştirilecek yüzeyler sıcak eleman ile temasta veya ışınlı ısıtılır, yeterince yumuşatıldıktan sonra basınç altında ek bir malzeme kullanmadan ya da kullanılarak birbirlerine basınç altında bastırılarak Şekil 1'deki gibi birleştirilir. Isıtma şekline göre doğrudan (direkt) ya da dolaylı ısıtma (endirekt) sıcak eleman kaynağı olarak da adlandırılmaktadırlar. Sıcak elaman kaynağı ile birleştirilmiş numuneler Şekil 2'de kaynak işlemi işlem basamaklarının grafiksel gösterimi Şekil 3'de gösterilmiştir (Hawkeye, 2008; ASTM F2620-06. 2006; DC. 1991).

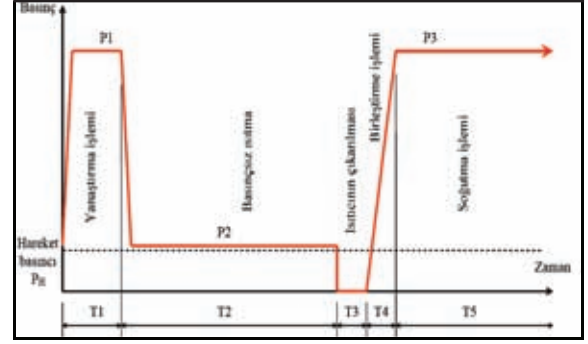


Şekil 1. Sıcak elaman kaynağı (Hawkeye, 2008; DC. 1991).



Şekil 2. Birleştirilmiş ürün (Akatherm, 2009).

Şekil 3'de ki grafik incelendiğinde beş zaman aralığında işlemin gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 3. Sıcak elaman kaynağı işleminin işlem basamakları grafiksel gösterimi (Hawkeye, 2008; Starostin ve Ammosova, 2009).

2. 1. Yanaştırma

Kaynatılacak borular birleşme yüzeyleri ısıtıcıya paralel olacak şekilde ısıtıcıya yanaştırılır. Paralleliğin tam olarak sağlanıp sağlanmadığı oluşan dudak yüksekliğinin tipine bağlı olarak belirlenebilir. Yanaştırma işlemi P1 basıncı altında T1 süresi boyunca yapılır. T1 (yanaştırma süresi) süresi oluşan dudak yüksekliğine göre belirlenir. Olması gereken minimum dudak yükseklikleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

2. 2. Basıncız Isıtma

Bu işlem için yanaştırma basıncından çok kısa bir süre içerisinde alın kaynak yüzeylerini ısıtıcıdan ayırmadan basınç düşürülür. Bu aşamada birleşme bölgeleri ısıtıcı ile hemen hemen sıfır basınçta (ara yüzey basıncı) temastadır. Bu esnada ısı boru eksenine doğrultusunda ilerler. Basıncız ısıtma süresi T2 Tablo 1'de 3. kolonda verilmiştir. Bu sürenin gerekenden kısa tutulması halinde, erimiş plastik kısmın derinliği alın kaynak için gerekli olan derinlikten daha kısa olur. Isıtma süresinin gerekenden uzun tutulması halinde de alın kaynak bölgesi aşırı eriyecek veya bozunacaktır.

2. 3. Isıtıcının Çıkartılması

Basıncız ısıtma işleminden sonra birleşme bölgeleri ısıtıcıdan ayrılır. Isıtıcı çıkarılırken birleşme bölgelerine zarar verilmemeli ve/veya pislik bulaştırılmamalıdır. Isıtıcı çıkarıldıktan sonra çok çabuk bir şekilde birleştirme işlemi gerçekleştirilmelidir. Eğer gecikilirse soğuma ve oksitlenme nedeniyle alın kaynak kalitesi bozulur. Bu aşama için maksimum süre T3 (ısıtıcının çıkarılma süresi) Tablo 1'de verilmiştir.

2. 4. Birleştirme

Isıtıcı çıkarıldıktan sonra borular birbirine yanaştırılır. Yanaştırma kesinlikle ısıtılmış yüzeylerin birbirine çarpması şeklinde olmamalıdır. İstenilen P3 basınç değerine (ara yüzey basıncı) lineer bir şekilde çıkılmalıdır (Grafik 2). Gerekli süre T4 (birleştirme süresi) Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Sıcak elaman kaynağında önerilen kaynak parametreleri (Hawkeye, 2008; Starostin ve Ammosova,2009).

Alın kaynak prosesinde önerilen alın kaynak parametreleri					
Cidar Kalınlığı	Yanaştırma Süresi	Basıncsız Isıtma Süresi	Isıtıcının Çıkarılma Süresi	Birleştirme	
	Isıtıcı Üzerinde Gözlenen Borunun Dudak Yüksekliği	Isıtma Süresi=10xCidar Kalınlığı		Birleştirme Süresi	Soğutma Süresi
mm	mm (min)	s	s (max)	s	s (min)
4,5	0,5	45	5	5	6
4,5...7	1,0	45...70	5...6	5...6	6...10
7...12	1,5	70...120	6...8	6...8	10...16
12...19	2,0	120...190	8...10	8...11	16...24
19...26	2,5	190...260	10...12	11...14	24...32
26...37	3,0	260...370	12...16	14...19	32...45
37...50	3,5	370...500	16...20	19...25	45...60
50...70	4,0	500...700	20...25	25...35	60...80

2. 5. Soğutma

Soğutma esnasında birleştirme basıncı P3 (ara yüzey basıncı) sabit tutulmalıdır. Birleştirme işleminden sonra düzgün ikili dudak oluşmalıdır (Şekil 4).

Dudak boyutları ve şekli kaynağın düzgünlüğünü gösterir. Birleştirilen boruların eriyik akışına bağlı olarak farklı dudak şekilleri oluşabilir. Dudak yükseklik değeri her zaman sıfırdan büyük olmalıdır. Bu aşama için gerekli minimum süre T5 (soğutma süresi) Tablo 1'de verilmiştir (Hawkeye, 2008; Starostin ve Ammosova, 2009).

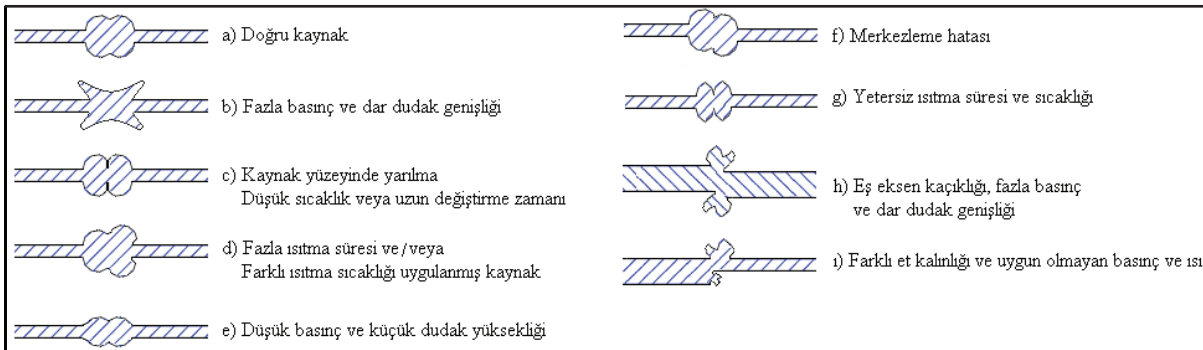
Polietilen boruların kaynaklı birleştirme işlemi sırasında doğru seçilmeyen parametre ve şartlarda birleşme bölgesinde dudak oluşumu şekil bozuklukları Şekil 5'de, sebepleri ise Tablo 2'de, bozuk boru görüntüsü Şekil 6a'da verilmiştir. Doğru seçilmiş ve doğru uygulama sonucu birleştirilmiş boru ve kesit görüntüsü Şekil 6b ve 6c'de verilmiştir (Crawford v.d., 2008; TN-42 / 2009; Messer, 2003).

Sıcak elaman kaynağında sıcaklık, ısıtma süresi, soğutma süresi, ısı kaynağı uzaklaştırma süresi ve basınç etkin parametrelerdir. Ayrıca boru cidar kalınlıklarına göre sıcaklık değişimi Şekil 7'deki grafikte verilmiştir.

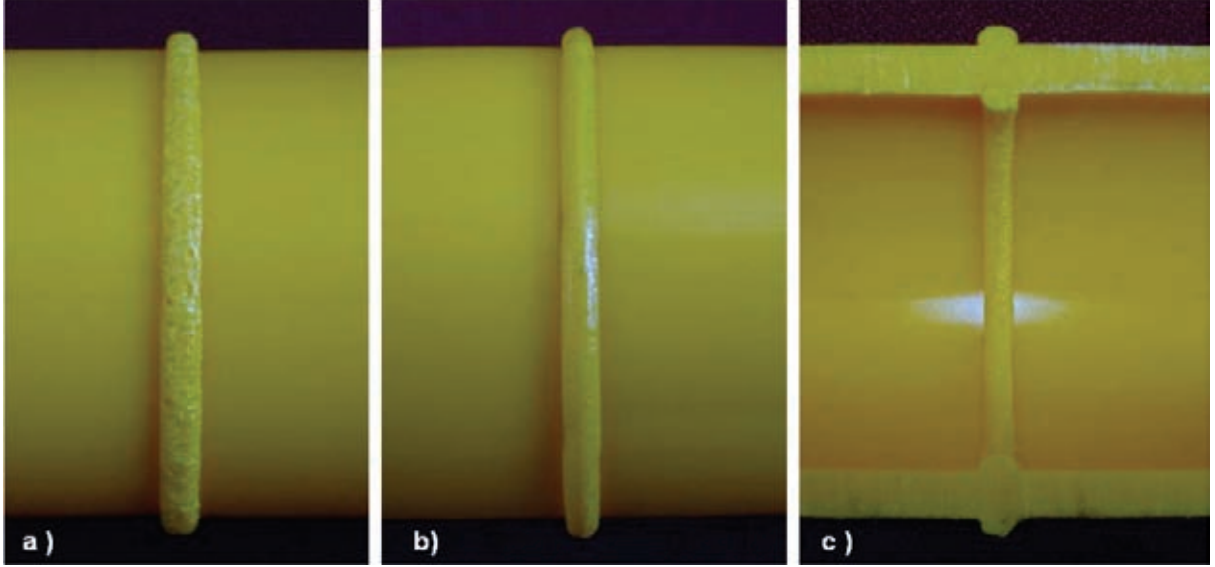
Grafik incelendiğinde ince et kalınlıklarında yüksek sıcaklığa gereksinim duyulmakta iken büyük et kalınlıklarında ise düşük sıcaklık gerektirmektedir.



Şekil 4. Birleştirme ve dudak oluşumu (Starostin ve Ammosova, 2009).



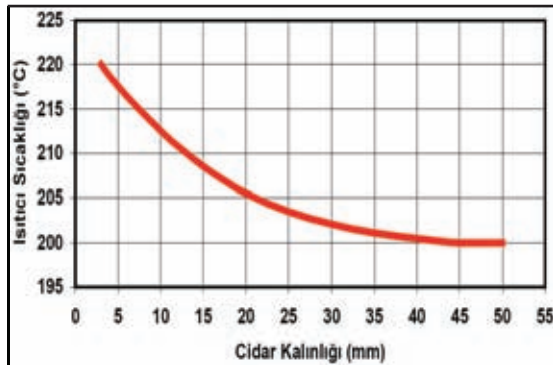
Şekil 5. Oluşan dudak şekilleri (Crawford v.d., 2008; TN-42 / 2009; Messer v.d.,2003).



Şekil 6. a) Uygun seçilmemiş kaynak parametreleri b)Uygun seçilmiş kaynak parametreleri; c) Uygun seçilmiş kaynak parametreleri ve boru; iç yüzey görünümü (TR-45/2008).

Tablo 2. Sıcak eleman kaynağı problemleri ve muhtemel sebepleri (Crawford v.d., 2008).

Fazla dudak genişliği	Aşırı ısıtma; fazla birleştirme kuvveti
Dudak orta kısmında oluşan boşluk yüksekliği çok fazla	Fazla birleştirme kuvveti; Yetersiz ısıtma; Isıtma esnasında basınç
Dudak üst kısmı düz	Fazla birleştirme kuvveti; Aşırı ısıtma
Boru etrafında üniform olmayan dudak	Hatalı yerleştirme (merkezleme); Arızalı ısıtma aparatı; Yanlış ekipman; Yetersiz tıraşlama
Dudaklar çok küçük	Yetersiz ısıtma; Yetersiz birleştirme kuvveti
Dudaklar boru dış yüzeyi üzerine dönmemiş	Dudak orta kısmında oluşan boşluk az: Yetersiz ısıtma ve yetersiz birleştirme basıncı Dudak orta kısmında oluşan boşluk çok: Yetersiz ısıtma ve fazla birleştirme kuvveti
Dudaklar çok büyük	Fazla ısıtma süresi
Dudak dış kenarı kare şeklinde	Isıtma esnasında basınç uygulanmış
Pürüzlü dudak yüzeyi	Alın kaynak bölgesine alın kaynak esnasında hidrokarbon bulaşmış



Şekil 7. Cıdar kalınlığına göre sıcaklık değerleri (Starostin ve Ammasova, 2009).

2. 1. Sıcak Elaman Kaynak Kalitesiyle İlgili Dikkat Edilecek Hususlar

Doğal gaz transferinde kullanılan PE boruların kaynağı, insan hayatı, endüstriyel uygulamalar

ve çevre ile ilgili yaşanan olumsuz sonuçları düşünüldüğünde oldukça önemlidir. Uygulanan PE kaynak yöntemleri arasında en ucuz ve en kolay uygulanan yöntem olmasından dolayı yoğun kullanımı söz konusudur.

Başarılı bir alın kaynak elde edebilmek için;

- Alın kaynak yapılacak malzemelerin birbirleriyle şeklen uyumlu olmasına dikkat edilmelidir. Nem, rüzgar veya düşük sıcaklıktaki ortamlarda, alın kaynak parametrelerinin etkilenmemesi için makine çalışma alanı bu etkilerden korunmalıdır.
- Alın kaynak yapılacak boruların alınlarının ısıtma süresi sonunda aynı sıcaklıkta olmasını garanti edebilmek için alın kaynak bölgesi direkt gün ışığı vb. etkilerden korunmalıdır.

- Alın kaynak işlemi öncesinde kaynatılacak boruların alınları toz, çapak v.b. olmaması için temizlenmelidir.
- Borular, alın kaynak işlemine başlanmadan önce kafalara sağlam olarak bağlanmalıdır. Bu hem parçaların tam olarak merkezlenip doğru bir alın kaynak elde edilebilmesi için gereklidir, hem de parçaların tıraşlama sırasında kafadan kurtulup, operatöre zarar vermesini önlemek açısından önemlidir.
- Alın kaynak işlemi sırasında (soğuma süresi dahil) alın kaynak yapılan parçalar hiçbir şekilde mekanik bir kuvvete ve zorlamaya maruz bırakılmamalıdır. Alın kaynak yapılan borunun diğer kısmı, kolay hareket edebileceği kayıcı bir zemin üzerinde bulunmalıdır. Bu, alın kaynak bölgesine kuvvet uygulanmadan ileri-geri beslemenin sağlanabilmesi açısından gereklidir.
- Tıraşlayıcı bıçağının gerekli keskinlikte olduğundan emin olunmalıdır. Belirli zaman aralıklarında bıçak bilenmeli yada değiştirilmelidir.
- Isıtıcının teflon kaplamasında derin çizik, çentik v.b. olmamalıdır. Bunun için belirli aralıklarla ısıtıcı yüzeyi kontrol edilmelidir (Marshall, 1991; Murch ve Troughton, 1993; Troughton, 2008).

Bu çalışmada doğalgaz transferinde kullanılmakta olan polietilen borulardan hazırlanmış olan deney numuneleri sıcak elaman kaynağı ile birleştirilerek standartlarla belirlenmiş olan testler uygulanmıştır. Yapılan bu işlemlerle standartlarda belirlenmiş olan testler sonucunda birleştirme işleminin basit, güvenli ve sağlam olduğu ortaya çıkmıştır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

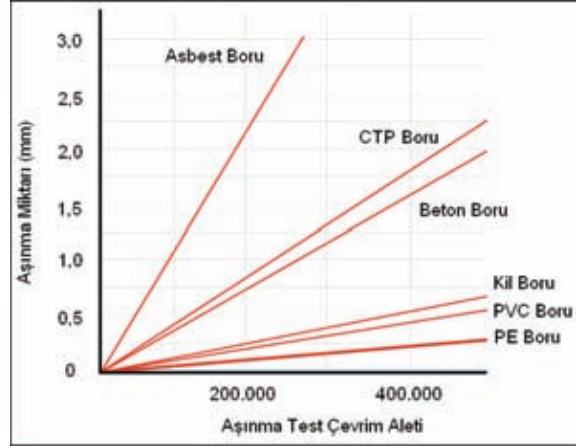
Sıcak alın kaynağı yöntemi ile 4 bar'lık basınç ve en çok 40 °C'lik sıcaklıklarda kullanılacak 225-315 mm nominal çaplı polietilen doğalgaz borular, birleştirilmiştir. Elde edilen her bir numuneye uluslar arası standartlarla belirlenmiş olan şartlarda testler uygulanmıştır.

3. 1. Malzeme

Polietilenin esnek bir malzeme özelliğinin olması çok düşük sıcaklıklarda bile darbe dayanımı üst seviyededir, dolayısı ile doğalgaz gibi çok önemli ve tehlikeli dağıtım hatlarında yaygın bir şekilde kullanımını sağlamaktadır.

Deneysel çalışmalarda dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan biri; alın kaynağı ancak benzer polimer yapısına sahip borulara uygulanabilir. Bu yüzden çalışmada doğalgaz borularının üretiminde kullanılan polietilen (PE 80 ve PE 100) plastik malzeme kullanılmıştır. Polietilen endüstride en yoğun kullanılan plastik malzemelerdendir. Endüstride

yoğun kullanılan boru malzemelerinin aşınma dirençleri Şekil 8'de verilmiştir. Akışkan içindeki partiküllere karşı doğada en az aşınmaya maruz kalan malzemeler yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) den üretilmiş borulardır Şekil 8'deki grafikte görüleceği gibi HDPE malzemeden imal edilmiş borunun iç yüzeyindeki ilk 100.000 test çevriminde sadece 0.09 mm aşınma gerçekleşmiştir (ASTM F1056-97. 2002). Genel olarak PE doğalgaz borularında; korozyon yok denecek kadar düşük, aşınma, çatlama ve kırılma gibi sorunlarla karşılaşmaz.

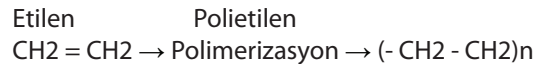


Şekil 8. Boru malzemelerinin aşınma direnci (ASTM F1056-97. 2002).

Elastik yapısı ile deprem ve heyelanlardan etkilenmemesi, -40 °C ısılarda elastiklik özelliklerini koruması, kimyasal maddelere karşı yüksek dayanım göstermesi, aşınmaya ve korozyona karşı yüksek direnç göstermesi ve taşıdığı akışkana molekül geçişi söz konusu olmadığından kanserojen etkisinin olmaması vb. özelliklerinden dolayı yoğun kullanım alanına sahiptirler.

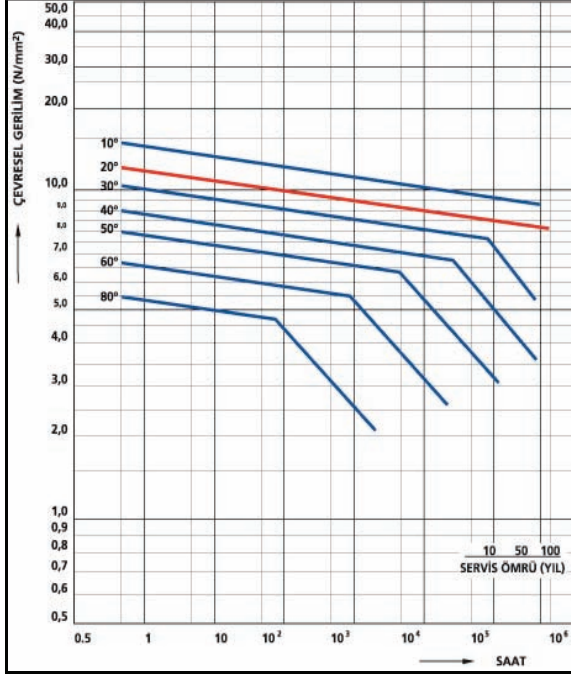
Polietilen malzemelerin düşük yoğunluklu olmasından dolayı metalden 8 kat daha hafiftir. Minimum 50 yıl süre ile çalışma basıncında sorunsuz çalışırlar. Doğru uygulamalarda % 100 sızdırmaz olup, montaj fitesi oluşmaz. Transferini sağladığı, su, gaz, petrol veya kimyasal maddelerin tat vb özelliklerini değiştirmezler. Düşük sıcaklıklarda yüksek çarpma direnci gösterirler. Çevre şartlarına karşı dayanıklıdırlar. UV ışınlarına karşı dirençlidirler. Kırılma ve çarpılmaya karşı dirençlidirler. Katodik korumaya gerek olmaması ve birden çok kaynak yöntemi ile birleştirilebilirler en yoğun tercih sebepleri arasında sayılabilir (Kaluç ve Taban, 2005; Polytubes, 2007).

PE nin kimyasal kompozisyonu;



Doğal gaz transferinde kullanılacak borulardan hazırlanan deney numunelerin metan geçirgenliği en az 2 mm kalınlığındaki bir örnek için günde en çok

0.075m²/bar özelliklerdedir. Deneyde kullanılan PE 100 boruların ömür diyagramı Şekil 9'da verilmiştir. Sıcak alın kaynağı bağlantı elemanları ile kesintisiz bir hat haline getirebilme özelliğine sahiptir. Ortalama 50 yıl servis ömrü garantisi altında hızlı çatlak yayılma direnci mükemmeldir. Yüksek basınç ve darbelere karşı dayanıklı olarak üretilen, kimyasal maddelere karşı dirençli olduğu için güvenle kullanılmaktadırlar.



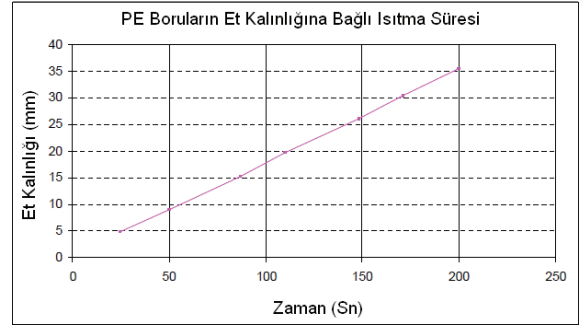
Şekil 9. PE 80 ömür diyagramı (Polytubes, 2007).

Plastik maddeler ile yapılmış borularda, servis ömrünü etkileyen faktörler demir ve çelik borular için korozif sayılan ortamlar plastik borular üzerine hiçbir etki yapmaz. Plastiklerin kimyasal mukavemeti doğrudan polimer bozulmasına bağlıdır. Bilindiği gibi plastikler, bütün organik maddeler gibi zaman içinde bozulur. Bu bozulma işlemi ultraviyole radyasyonu, termal oksitlenme ve su absorpsiyonu gibi olaylardan etkilenir. Bozulmayı önlemek veya geciktirmek için karbon siyahı, anti oksidan maddeler ve pigmentler denilen stabilizatörler rafineri ortamında katılır.

PE boru ve ek parçalarının dayanıklı, sınırlı dayanıklı veya dayanıksız olduğu kimyasal madde tablosu aşağıda verilmiştir. plastik borular ve ekleme parçaları, iç basınç uygulanmadığı ve dışarıdan herhangi bir mekanik etkinin olmadığı durumlarda ve belirtilen sıcaklık ve konsantrasyonlardaki kimyasal maddelerle kullanıldığında, özelliklerinde olumsuz yönde bir değişiklik meydana gelmez (ASTM F1056-97. 2002).

Boru et kalınlığına göre ısıtma süresi Şekil 10'da verilmiştir. Grafikten görüleceği gibi et kalınlığının artması ile ısıtma süresi de doğru orantılı olarak artmaktadır. Malzemenin diğer özellikleri ise Tablo 3' de verilmiştir.

Ayrıca, alın kaynaklı birleştirmelerde yeni üretilmiş malzeme kullanılmalıdır çünkü yeni malzeme çatlak oluşumu ve çatlakların büyümesine karşı dirençlidir. Eski malzemelerde genelde kaynak yapılan yerin yakınında çatlaklar oluşabilmektedir. Bu yüzden gelişmiş ülkeler eski malzemelerini dönem - dönem pazardan çekmişlerdir.



Şekil 10. PE 100 Isıtma zaman diyagramı (ASTM F1056-97. 2002).

3.2. Metot

PE 80 ve PE100 plastik borular Taurus Ø225 - Ø500 Sıcak Alın Kaynak Makinesi ile Tablo 4'de belirtilen parametrelerle birleştirilmiştir. Birleştirilerek elde edilen kaynaklı borulardan standartlarla belirlenmiş olan ölçülerde hazırlanmış olan numuneler her bir test için uygun şartlar sağlanarak test edilmiştir.

Uygulanan bazı testlerde sayısal sonuçlar elde edilmişken bazı testlerde ise uygulanan test sonucunda birleşme bölgesindeki değişim ve olumsuzluklar değerlendirilerek her hangi bir hasarın oluşup oluşmadığı gözlenmiştir. Yapılan her bir test, testin özelliğine göre 4 ile 8 arasında değişen numunelere uygulanmış, elde edilen sayısal sonuçlar aritmetik ortalamalar alınarak belirlenmiştir.

Hasar oluşup oluşmadığına yönelik testlerde ise tüm numuneler tek tek değerlendirilmiş ve hiç birinde olumsuz bir sonuç alınmamışsa HASARSIZ şeklinde belirtilmiştir.

Tablo3. PE 80 ve PE 100 polietilen borunun teknik özellikleri (Donoghue v.d., 1991).

Teknik Özellikler	Birim	PE 100	PE 80
Yoğunluk (23 C)	g/cm ³	0,950 - 0,960	0,940 - 0,945
Viskozite Sayısı	cm ³ /g	360	360
Erime Akış Hızı (MFR) 190°C-2,16Kg	g/10dak.	0,04 - 0,07	0,1 - 0,2
Kopmada Uzama	%	> 600	> 600
Akmada Gerilme Dayanımı	MPa	22 - 27	20 - 22
Akmada Gerilme Dayanımı	MPa	25	25
Kopmada Uzama Gerilmesi	%	> 350	> 350
Akmadaki Uzama	%	9	9
Elastik Modülü	MPa	950 - 1400	700 - 1000
Çekme Modülü	MPa	900	900
Karbon Siyahı Miktarı (190C 5Kg)	%	> 2.5	> 2 - 2.5
Karbon Siyahı Dağılımı	Grade	< 3	< 3
Sertlik	Shore D	59 - 60	40
Termal Dayanıklılık	dk	> 20	> 20
Vicat Yumuşama Sıcaklığı	°C	126	125
Charpy Darbe Muk. Çentikli +23°C	kJ /cm ²	26	26
Kırılma Sıcaklığı	°C	< - 70	< - 70
Isıl Kondüktivite (20°C)	W/mK	0,4	0,4
Özgül Isı	J/g °C	1,9	1,9
ESCR (50°C'de), F50	saat	> 10000	> 5000
Yavaş Çatlak İlerlemesi Direnci 4,6 Mpa 80 °C Çentikli)	saat	> 3000	> 3000
Doğrusal Genleşme Katsayısı	C ⁻¹	.18x10 ⁻⁴	.18x10 ⁻⁴
Elektrik Mukavemeti	kV /mm	> 20	> 20
Hacim Direnci	m	> 10 ¹³	> 10 ¹³
Yüzey Direnci	-	> 1000 ¹³	> 1000 ¹³
Bağıl Gerginlik	-	2,6	2,6

Tablo 4. Kaynak parametreleri ve cihazının özellikleri.

Ön ısıtma sıcaklığı	120 °C
Isıtıcı elamanın sıcaklığı	280 °C
Ön ısıtma basıncı	60 psi
Birleştirme basıncı	30 psi
Değiştirme zamanı	10 sn
Birleştirme ve soğutma zamanı	36 sn
Çalışma basıncı	130 bar
Ergiyik Akış Hızı	30 ml / dak
Taurus kaynak makinesi özellikleri	
TS ISO 12176-1 normlarına uygun	
380V-2200 Watt Traş Ünitesi	
5000 Watt Mono Blok Isıtıcı Ütu	
Trifaze Hidrolik Sistem	
380V-2,2kW (16lt/dk -150 Bar)	
Maksimum et kalınlığı 32 mm	
220 V - 2800 W ısıtıcı	
Maksimum kaynak toleransı 0.3 mm	
Isıtma plakası sıcaklık farkı ± 5	
220 V -0.55 kW hidrolik sistem motoru	

Birleştirilen numunelerin basınç testlerinde AL BTC Basınç Test Cihazı, boruların yapışma mukavemetini ölçmek için kullanılan çekme test cihazı, eğme test cihazı ve el ile muayene yapılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 5'de verilmiştir. Şekil 12a. b. c. d. çekme işlemi ve çekme numunesi görüntüleri, Şekil 13a. b. c. eğme işlem ve numuneleri, Şekil 14'de basınç test numunesi görüntüsü verilmiştir. Cihazın kaynak için ihtiyaç duyduğu kuvvet aşağıdaki bağıntılardan hesaplanabilir.

Sıcak alın kaynağında ideal dudak genişliği dudak yüksekliğinin en az 2 en fazla 2,5 katı olmalıdır.

$$A_{Boru} = \frac{(da^2 - di^2)\pi}{4} \quad (1)$$

A_{Boru} = Boru kaynak alanı
 da = Dış çap
 di = İç çap

$$F = P_{Spesifik} \cdot A_{Boru} \quad (N) \quad (2)$$

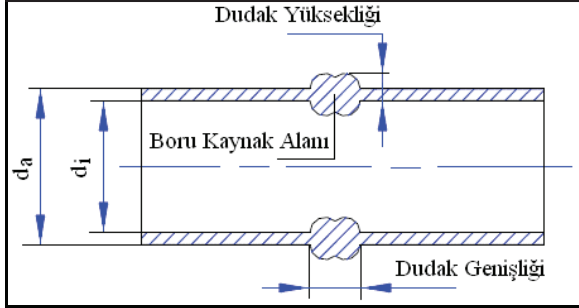
A_{Boru} = Boru Kaynak Alanı
 F = Sıkıştırma Kuvveti
 $P_{Spesifik}$ PE = 0.15 N/mm²

3. 3. Kalite Kontrol Test Yöntemleri

Yapılan deneysel uygulamalarda kaynak kalitesi ve uygulama sonrası kullanım güvenliği göz önüne alındığında en hassas davranılması gereken konunun, birleştirilecek boruların aynı eksen üzerinde konumlandırılmaları olduğudur. Boru et kalınlığı farkı % 10'u geçmemelidir. Kaynak işlemi, soğutma işlemi süresinin tamamlanması sonrasında boru makineden çıkarılacaktır.

Kaynak yeterliliği, dudak genişliği, dudak yüksekliği ve işlem sırasında birleştirme bölgesinde her hangi bir kirlenmenin olup olmadığı, ısıdan etkilenen bölgelerde boşluk oluşup oluşmadığı, yapışma bölgesi çevresinde yarık, çatlak vb. olumsuzlukların olup olmadığı gözle kontrol edildikten sonra kaynak sağlamlığı değerlendirilmelidir. Şekil 11'de gösterilen asgari ve azami toleransla buna göre belirlenecektir. Gözle muayene tatmin edici olduktan sonra uluslararası standartlar dahilinde testler uygulanacaktır, gözle muayene istenen sonuçları sağlamıyorsa birleştirme işlemi ön işlemler (dudak bölgesinin çıkarılması sonrası her iki boru kenarında tıraşlama ve temizleme) yapıldıktan sonra tekrar gerçekleştirilecektir (Messer v.d., 2003).

PE boruların üretiminde ve kalite kontrolünde aşağıdaki standartlara göre tüm testler uygulanmaktadır. Borular ancak test ve kontroller sonra sevk edilir (Takasu, 2003).



Şekil 11. Birleştirilen boru geometrisi (Messer v.d., 2003).

3. 3. 1. Yoğunluk Tayini (ISO 1183)

Malzemenin birim hacmindeki ağırlığının tespit edilmesi amacı ile yapılır. Analitik Teraziler ile malzeme önce havada, daha sonra da yoğunluğu önceden bilinen sıvı içinde tartılarak standartta belirtilen hesap yöntemi ile yoğunluk bulunur.

3. 3. 2. MFI (Melt Flow Index) Tayini (ISO 1133)

Malzemenin işlenmeden önce sıcaklık karşısında davranışının incelenmesi amacı ile yapılır. MFI cihazı ile yapılan testten çıkan numuneler analitik terazi ile tartılarak bulunan değerler cihaza yüklenerek gr/10 dk. birimi ile sonuç tespit edilir.

3. 3. 3. Kopma Mukavemeti (ISO 527)

Malzemenin kuvvet karşısında davranışının incelendiği testte kopma mukavemeti ve elastiklik modülü belirlenir.

3. 3. 4. Kopma Uzama (ISO 527)

Malzemenin kopma anındaki uzama miktarının yüzde (%) olarak belirlendiği testtir.

3. 3. 5. Hidrostatik Basınç Testi (ISO 9080 EN 921)

Boruların zaman içinde basınç karşısındaki davranışlarının kısaltılmış ortam şartlarında incelendiği testtir. Borulara yüksek basınç şartları uygulanarak 50 yıllık bir sürede borudaki değişimler gözlemlenir.

3. 3. 6. Homojenlik Testi (ISO 13949)

Malzemenin yapısındaki homojen pigment dağılımının ve olası boşlukların incelenmesi amacı ile yapılır. 10-15 um kalınlığında alınan mikrotom kesit mikroskop altında incelenir.

3. 3. 7. Karbon Siyahı Miktar Analizi (ISO 6964)

Malzeme içine UV ışınlarına karşı mukavemet özelliği kazandırma için rafineri şartlarında homojen olarak takviye edilen karbon miktarının yüzde (%) olarak tespit edilmesi amacı ile yapılır. Azot gazı ile yüksek ısı fırınında yakılan numunede yanmayan kısım olan karbonun miktarı yüzde (%) olarak hesaplanır (Takasu, 2003).

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Numunelere uygulanacak çekme testi için birleştirilen borudan uzunlamasına ve tüm çeper kalınlığını kapsayacak şekilde kesilecek, düzgün ve kertsiz olacaktır. Boru çevresinde bir birinden eşit uzunluktaki konumlardan dört numune olarak işlem gerçekleştirilmiştir (Şekil 12a. b. c. d). Test şartları ve sonuçları Tablo 6'da belirtilmiştir.



(a) Çekme işlemi.

Kaynaklı birleştirilmiş plastiklerin uzun süreli davranışını gözlemlemek için kullanılan uzun süreli

çekme testi uzun dönemli kaynak çarpanı sonucunu 0,8 olarak verecektir. Bu sonuç, dayanıklılığın, kaynak yapılmamış malzemeye göre %20 oranında azalması demektir (Murch ve Troughton, 1993).



(b) Çekme işlem anı.

Hazırlanmış olan numuneler iki farklı eğme testi uygulanmıştır. Standartlarda belirtilmiş koşullarda hidrolik sistemle uygulanan test işlemi (Şekil 13. a. b.) sonucunda kaynak bölgesinde herhangi bir yırtılma, çatlama v.b. olumsuzluk gözlenmemiştir.



(c) Çekme işlem sonrası görünüm.



Şekil 12. Çekme işlemi ve çekme numunesi görüntüleri

Ayrıca ikinci yöntem el ile eğme işlemi sonucunda da herhangi bir olumsuzluk söz konusu değildir. Sıcak alın kaynağı ile birleştirilmiş olan boruların eğme mukavemetlerinin oldukça iyi olduğu yapılan testler sonucunda ortaya çıkmıştır. Basınç test düzeneği Şekil 14. Katlama test düzeneği ve işlemi Şekil 15'de verilmiştir.



(a) Eğme işlemi.

Yapılan deneysel çalışmalarda, birleştirme sırasında dikkat edilecek önemli hususlar; kaynatılacak malzemelerin çap, et kalınlığı ve malzeme cinsi (özellikleri) birbirine uyumlu olmak zorundadır. Kaynak ortamının rutubet, hava akımları vb. çevresel etkilere dikkat edilmelidir. İyi bir kaynak kalitesi için tıraşlanan yüzeylere asla el temas etmemelidir.



(b) Eğme işlemi sonrası numune.



(c) Elle muayene (Barber, ve Atkinson, 1994).

Şekil 13. Eğme işlemi ve eğme numuneleri



Şekil 14. Basınç test numune ve ölçüm.



Şekil 15. Katlama testi (Saint Royre, v.d., 1989).

4. 1. Kaynak Sırasında İşçiliğin Kötü Olması

Genel olarak söylenebilir ki, alın birleştirme yapılırken kötü işçilikten kaynaklanan hata oluşması riski, diğer yoğun kullanılan elektrofüzyon kaynak yönteminde olduğundan daha yüksektir. Kötü işçilik olasılığı, boruların uzun dönem performansında büyük sorunlar yaratabilir. Her nihai kullanıcı bilmelidir ki, derin yerde iyi bir alın kaynak yapmak çok zordur. Normal ve kötü hava koşullarındaki alın kaynak kalitesi arasında büyük bir fark vardır. Kirli ve yıpranmış borular üzerinde iyi bir alın kaynağı yapmak çok çok zordur. Ayrıca, çalışanlar iyi eğitilmiş olmalıdır. Yağmurlu havalar tehlikelidir, küçük hatalar kullanım sırasında ölümcül etkiler yaratabilir. Ayrıca, işçilik ve malzeme, alın kaynak yapılmış boruların basınca dayanıklılığı üzerinde büyük etki yaratabilir.

Tablo 5. Deney numunelerine uygulanan test ve ölçüm sonuçları.

Hidrostatik İç Basınç Test Raporu (F50)	PE 80	PE 100
Hidrostatik Mukavemet (80°C,165 h)	HASARSIZ	HASARSIZ
Hidrostatik Mukavemet (80°C,1000 h)	HASARSIZ	HASARSIZ
Hidrostatik Mukavemet (20°C,100 h)	HASARSIZ	HASARSIZ
Gaz Debisi/Basınç Düşüşü İlişkisi Tayini Deney Raporu UGETAM Raporu		0,5mbar ² da $\geq 0,25$ m/sn
Eğilme ve Sıcaklık Çevrimi Durumunda Sızdırmazlık Deney Raporu (F63)		HASARSIZ
23°C'de Sabit Hızda ve Sabit Yük Altında Çekme Deneyi Raporu (F61)		HASARSIZ
80°C'de Çekme Deneyinden Sonra Sızdırmazlık Deney Raporu (F60)		HASARSIZ
Sıcaklık Çevriminde Sızdırmazlık Deney Raporu (F62)		HASARSIZ
Hidrostatik Mukavemet 80°C, 165 h Hidrostatik Basınç Test Raporu (F50)		HASARSIZ
Yoğunluk Hammadde Kalite Kontrol Raporu (F39)		PE 100 için 959 kg/m ³ PE 80 için 944 kg/m ³
Hidrostatik Mukavemet 80°C,1000 h Hidrostatik Basınç Test Raporu (F50)		HASARSIZ
Hidrostatik Mukavemet 20°C, 100 h Hidrostatik Basınç Test Raporu (F50)		HASARSIZ
MFR Hammadde Kalite Kontrol Raporu (F39)		PE 100 için 0,40 (190°C/5kg), PE 80 için 0,88 (190°C/5kg)
Yapışma Mukavemeti Raporu (F 96)		%100 Kaynama olmuş.
Darbe Mukavemeti UGETAM Raporu		HASARSIZ
Basınç Düşmesi UGETAM Raporu		0,5mbar ² da $\geq 0,33$ m/sn
Yükseltgenme İndüksiyon Süresi		33 dak.
Elektriksel Özellikler Proses Kontrol Formu (F-12)		4,01 Ω
HASARSIZ deney sonucunda numunede sızdırma ve deformasyon olmadığını ifade eder.		

5. BULGULAR VE ÖNERİLER

Sıcak alın kaynağı yöntemi ile yapılan birleştirme işlemleri ve yapılan testlerin değerlendirilmesi ile elde edilen veriler ışığında; optimum kaynak parametreleri seçilerek yapılan birleştirme işlemleri ile genel olarak kaynak kalitesinin üst seviyede olduğu, mükemmel bir sızdırmazlık ile eklem kalitesinin yanı sıra birleştirme bölgesi ve çevresinde malzeme sertliğinde bir artış ile esnekliğin düştüğü gözlenmiştir.

Kaynak işleminin kolaylığı, güvenlik ve ekonomiklik koşulları göz önünde bulundurulduğunda PE borulara uygulanan birleştirme yöntemlerinden en iyi sonuçlar sıcak alın kaynak yöntemi ile elde edilmektedir.

250mm çap ve üzerindeki PE plastik borular sıcak alın kaynağı ile birleştirilmeli. Çünkü kendisinin dışındaki diğer alternatif yöntemler, bu çaplardaki boruların birleştirmelerinde küçük çaplı borularda olduğu kadar iyi sonuç vermemektedir.

Ayrıca katlama testlerinde en iyi sonuçları diğer alternatif kaynak yöntemlerine oranla sıcak alın kaynağı vermektedir.

Fakat birleştirme sonucunda oluşan iç dudak gaz akış hızını çok küçük oranda da olsa düşürmektedir.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, NTG Plastik San. ve Tic. A.Ş. tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

Anık, S., Dikicioğlu, A. ve Vural, M. 1994. "Termoplastik Malzemelerin Kaynağı", Kaynak Tekniği Derneği, Yayın No. 2, İstanbul.

ASTM D2657-97. 2002. "Standard Practice for Heat Fusion Joining of Polyolefin Pipe and Fittings", Volume 8.04. American Society of Testing and Materials. Baltimore.

ASTM F1056-97. 2002. "Standard Specification for Socket Fusion Tools for Use in Socket Fusion Joining Polyethylene Pipe or Tubing and Fittings", Volume 8.04. American Society of Testing and Materials. Baltimore.

Barber, P. and Atkinson, J.R. 1994. "The use of tensile tests to determine the optimum conditions for butt fusion welding certain grades of polyethylene, polybutene-1 and polypropylene pipes. J. of Materials science. pp. 1456.

Code of Federal Regulations, 1991. Title 49, Part 192, Subpart F. "Pipeline Safety Regulations". 56 (117), 6426-6505. June 18, Washington.

Crawford, S. L., Cumblidge, S. E., Hall, T. E. and Anderson M. T. 2008. "Preliminary Assessment of NDE Methods on Inspection of HDPE Butt Fusion Piping Joints for Lack of Fusion", Prepared for the U.S. Nuclear Regulatory Commission under U.S. Department of Energy.

Donoghue, P. E., Kanninen, M. F., Green, S. T. and Grigory, S. C. 1991. "Results of a thermomechanical analysis model for EF joining of PE gas pipes", In Proceedings of Twelfth Plastic Fuel Gas Pipe Symposium, p. 331-342, Boston.

GEV-ATB-2009. "Plastik Malzemeleri Birleştirme Yöntemleri", Gedik Eğitim Vakfı.

Hawkeye Industries Inc. 2008. "Fabricated Fitting Butt Fusion Procedure", Technical Bulletin: TB-0308-FF, FPR IDC and NIDC Fittings.

<http://www.akatherm.com/files/Pressure/Welding%20polyolefins.pdf>.

Jim Craig, P. E. 2005. "QA Technology for Polyethylene Butt Fusion Joints", North American Society for Trenchless Technology, McElroy Manufacturing, Inc. Florida.

Jun, H. Y. and Grimm, R.A. 1998. "Infrared welding of thermoplastics: Practical characterization of transmission behavior of eleven thermoplastics", Proceedings of ANTEC 1998, Conference Proceedings, Society of Plastics Engineers. pp. 1030-1035.

Kaluç, E. ve Taban, E. 2005. "Doğalgaz Boru Hatlarında Kullanılan Polietilen Boruların Kaynağı", MakinaTek, Bileşim Yayıncılık, s. 118-124, İstanbul.

Marshall, G.P. 1991. "Advances in Joining Plastics and Composites". pp. 202. 10-12 June, 1991, Bradford, Yorkshire, U.K.

Messer, B., Yarmuch, M. and Boer, P. 2003. "Novel High Resolution Defect Detection For Thermoplastic Butt-Welds", Pipeline & Gas Journal, RTD Quality Services Inc. (230), 46. March, 2003.

Murch, M.G. and Troughton, M.J. 1993. "A Study of the Applicability of the Tensile Weld Test for Thick Walled Polyethylene Pipe", TWI, pp. 757.

Ogorkiewicz, R.M. 1970. "Engineering Properties of Thermoplastics", Willey-Interscience, London. pp.249 - 317.

Polytubes Technical Note, 2007. "Butt Fusion Technique", POLYETHYLENE, Technical Note. Polytubes Technical Bulletin. July 2007. Butt Fusion. Page 4.

Takasu, N. 2003. "Friction welding of plastics", Selected from journal of the Japan Welding Society Welding International" 17 (11), 856, 2003.

- Troughton, M.J. 2008. "Flash-Free Welding", Handbook of Plastics Joining. pp. 127.
- Saint Royre, D., Gueugnaut, D. and Reveret, D. 1989. "Test meth-1995. odology for the determination of optimum fusion welding ABAQUS Theory Manual", Version 5.3, Hibbit, Karlsson conditions of PE. J. Appl. Polym. Sci., pp.147-162.
- Starostin N. P. and Ammosova, O. A. 2009. "Thermal Processes in Butt-Welding Polyethylene Pipe at Low Ambient Temperatures", Russian Engineering Research. 29 (1), 12-16.
- Steven A., Kocheny, S. A. and Miller, B. 2009. "Laser Welding: It's Not Just for Metals Anymore", Welding Journal. 88 (3), 28-30.
- Ziegler, D. 2004. "Welding of termoplastics", Welding Journal. 83 (10), 45- 47. October.