

Yapıştırma Bağlantılı Soğutucu Boru Birleşimlerinde Tırtıl Çekme (Knurling) İşlemi ile
Elde Edilen Yüzey Desenlerinin Bağlantı Dayanımına Etkisinin Deneysel İncelenmesi

Ali Gökhan Genç

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Mart 2019

Experimental Investigation Of The Effect Of Knurled Surface Textures On The
Adhesive Bond Strenght Of Refrigerant Tubes

Ali Gökhan Genç

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Mechanical Engineering

March 2019

Yapıştırma Bağlantılı Soğutucu Boru Birleşimlerinde Tırtıl Çekme (Knurling) İşlemi ile
Elde Edilen Yüzey Desenlerinin Bağlantı Dayanımına Etkisinin Deneysel İncelenmesi

Ali Gökhan Genç

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Konstrüksiyon ve İmalat Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ümit Er

Mart 2019

ONAY

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Ali Gökhan Genç'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Yapıştırma Bağlantılı Soğutucu Boru Birleşimlerinde Tırtıl Çekme (Knurling) İşlemi ile Elde Edilen Yüzey Desenlerinin Bağlantı Dayanımına Etkisinin Deneysel İncelenmesi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Ümit Er

İkinci Danışman: ---

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ümit Er

Üye : Doç. Dr. Melih Cemal Kuşhan

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ömür Akbayır

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nuntarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Dr. Öğr. Üyesi Ümit Er danışmanlığında hazırlamış olduğum “Yapıştırma Bağlantılı Soğutucu Boru Birleşimlerinde Tırtıl Çekme (Knurling) İşlemi ile Elde Edilen Yüzey Desenlerinin Bağlantı Dayanımına Etkisinin Deneysel İncelenmesi” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 18/03/2019

Ali Gökhan Genç

İmza

ÖZET

Kapalı çevrimde çalışan bir soğutma sistemi tasarımında kondenser, evaporatör ve kompresör bağlantılarını yapmak için alüminyum, çelik ve bakır soğutucu borular kullanılmaktadır. Bu boruların içerisinde geçirilen soğutucu akışkan gaz (R600a – R134a v.b.) sayesinde soğutma çevrimi tamamlanmaktadır. Yüksek enerji verimliliğine sahip ürünler tasarlanabilmesi için sistem tasarımında kullanılan boru bağlantılarının yüksek sızdırmazlık ve basınç altında görevlerini yerine getirmeleri gerekmektedir.

Bu çalışmada, ev tipi buzdolaplarındaki soğutma sistemi elemanlarından olan alüminyum, bakır ve çelik boruların bağlantı yöntemlerinin araştırılması, kullanılan yöntemlerin optimize edilmesi, boru çapı, malzemesi ve bağlantı şeklinin etkisinin deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır.

Tez kapsamındaki çalışmaların sonucunda, üretim prosesinde hata oranı yüksek ve işçiliği kalifiye eleman gerektiren alev ile yapılan lehim bağlantısı yerine çift kademeli özel kompozit yapıştırıcıların da bazı malzemeler için alternatif olarak kullanılabilceği belirlenmiştir. Kullanılan özel yapıştırıcıyla birlikte boruların bağlantı şekillerinin etkisi de incelenmiştir. Buna göre boru üzerinde tırtıl çekme (knurling) işlemi ile elde edilen desenlerin daha iyi şekil bağlantısı sağladıkları da tespit edilmiştir.

Çalışmada elde edilen sonuçlara göre en iyi sonucu veren “yapıştırıcı ve tırtıl desen birleşimi” kullanılarak hazırlanan soğutucu borularla, soğutma performans deneylerinin yapılması ve bulunan birleştirme yönteminin seri olarak üretilebilir hale getirilmesi için çalışmalar planlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Soğutucu boruları, yapıştırma bağlantısı, yapıştırma bağlantı dayanımı, tırtıl çekme (knurling) işlemleri

SUMMARY

In a cooling system design which works in closed loop, aluminum, steel and copper refrigerant pipes are used to make condenser, evaporator and compressor connections. The refrigeration cycle is completed by means of refrigerant gas (R600a - R134a etc.) through these pipes. In order to design products with high energy efficiency, the pipe connections used in the system design must perform their duties under high sealing and pressure.

In this study, it is aimed to investigate the connection methods of aluminum, copper and steel pipes which are one of the cooling system elements in home refrigerators, to optimize the methods used, to examine the effect of pipe diameter, material and connection shape experimentally. Household refrigerators were preferred as the product group.

As a result of the thesis, it has been determined that double stage special composite adhesives can be used instead of solder connection by using flame which has high error rate in the production process and requiring skilled labor. The effect of the connection shapes of the pipes with the special adhesive used was also examined. Accordingly, it was determined that the patterns obtained by the knurling process on the pipe provide better shape connection.

According to the results obtained in the study, it is planned to conduct cooling performance tests with the refrigerant pipes prepared using the combination of adhesive and knurling pattern which gives the best result and to make the jointing method that can be produced in series.

Keywords: Refrigerant tubes, adhesive bonding, adhesive bond strength, knurled surfaces

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, konunun seçiminden tamamlanmasına kadar her aşamada, bilgi, düşünce ve yakın ilgileriyle beni yönlendiren ve bana yardımcı olan değerli hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ümit ER 'e teşekkürlerimi sunarım.

Testlerin yapılması için gerekli malzemelerin temin edilmesi ve laboratuvarlarında kullanılmasında verdikleri destek için Arçelik ailesinin değerli yöneticilerine ve çalışanlarına teşekkür ediyorum.

Tezin hazırlanması süresince ilgili deneylerin yapılmasında verdikleri destek sebebiyle değerli arkadaşlarım Murat Üngör ve Ozan Karadut'a teşekkürü borç bilirim.

Tezimi tamamlayabilmem için beni sürekli motive eden yol arkadaşım sevgili eşim Merve Genç'e ve bu süreçte beraber geçireceğimiz zamandan feragat eden canım oğlum Metin Furkan'a teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan ve desteklerini bir an için eksik etmeyen annem Nuray Genç ve babam Metin Genç'e çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| ÖZET | vi |
| SUMMARY | vii |
| TEŞEKKÜR | viii |
| İÇİNDEKİLER | ix |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | xi |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | xiii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ | xiv |
| 1. GİRİŞ VE AMAÇ | 1 |
| 2. SOĞUTMA SİSTEMİ BORU BAĞLANTILARI | 7 |
| 2.1. Soğutma Sistemindeki Boru Bağlantı Birleşim Noktaları | 7 |
| 2.1.1. Kompresör Bölgesi | 7 |
| 2.1.2. Kondenser Bölgesi | 7 |
| 2.1.3. Drayer (Kurutucu) Bölgesi | 8 |
| 2.1.4. Evaporatör Bölgesi | 8 |
| 2.2. Soğutma Sisteminde Kullanılan Soğutucu Akışkan Gazlar | 9 |
| 2.2.1. R134a | 10 |
| 2.2.2. R600a | 10 |
| 2.3. Soğutucu Boru Kaynaklı Soğutma Sistemlerinde Yaşanan Problemler | 11 |
| 2.3.1. Gaz Kaçak Problemi | 12 |
| 2.3.2. Soğutma Boruları İçinde Yabancı Cisim Bulunması | 13 |
| 2.4. Soğutucu Boruların Birleştirilme Yöntemleri | 16 |
| 2.4.1. Alevle (ilave malzeme kullanarak) lehim yöntemi | 16 |
| 2.4.1.1. <u>Buzdolaplarında Lehim İşleminin Yapılması</u> | 17 |
| 2.4.2. İndüksiyon ile ısıtma yöntemi | 18 |
| 2.4.3. Lokring Sistem ile boruların birleştirilmesi | 21 |
| 2.4.4. Yapıştırıcı kullanılarak birleştirme yapılması | 24 |
| 2.4.5.1. <u>Yapıştırıcıların Sınıflandırılması</u> | 27 |
| 2.4.5.2. <u>Yapıştırma Birleştirmelerinin Dayanımını Belirleyen Etkenler</u> | 28 |
| 2.5. Boruların Üzerine Tırtıl Çekme (Knurling) İşlemi | 32 |

İÇİNDEKİLER (devam)

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| 3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI | 34 |
| 4. MATERYAL VE YÖNTEM | 37 |
| 4.1. Deney Numuneleri | 37 |
| 4.2. Test Numunelerinin Hazırlanması | 38 |
| 4.2.1. Lehim Bağlantısı İle Birleştirilen Soğutucu Boruların Hazırlanması | 39 |
| 4.2.2. Yapıştırma Metodu ile Birleştirilen Test Numunelerinin Hazırlanması | 39 |
| 4.2.3. Yapıştırma Metodu İçin Kullanılacak Yapıştırıcılar | 40 |
| 4.2.3.1. <u>Epoksi Adhezif Çift Komponentli Yapıştırıcı (1 No'lu Yapıştırıcı)</u> | 40 |
| 4.2.3.2. <u>Üretan Adhezif Tip Çift Komponentli Yapıştırıcı (2 No'lu Yapıştırıcı)</u> .. | 40 |
| 4.2.3.3. <u>Akrilik Adhezif Çift Komponentli Yapıştırıcı (3 No'lu Yapıştırıcı)</u> | 41 |
| 4.3. Test Numunelerine Yapılan Testler | 43 |
| 4.3.1. Basınç Testi | 43 |
| 4.3.2. Çekme Testi | 44 |
| 4.3.3. Korozyon Testi | 45 |
| 5. BULGULAR VE TARTIŞMA | 47 |
| 5.1 Basınç Testleri | 47 |
| 5.2 Çekme-Uzama Testleri | 49 |
| 5.2.1 Çelik Boru Çekme Testleri Sonucu | 49 |
| 5.2.2 Bakır Boru Çekme Testleri Sonucu | 51 |
| 5.2.3 Alüminyum Boru Çekme Testleri Sonucu | 53 |
| 5.3 Korozyon Testleri | 56 |
| 5.3.1. Çelik Boru Korozyon Testleri Sonucu | 56 |
| 5.3.2. Bakır Boru Korozyon Testleri Sonucu | 57 |
| 5.3.3. Alüminyum Boru Korozyon Testleri Sonucu | 58 |
| 6. SONUÇ VE ÖNERİLER | 59 |
| KAYNAKLAR DİZİNİ | 64 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| <u>Sekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| 1.1. Soğutucu çevrimi..... | 1 |
| 1.2. Ters carnot çevriminin T-s diyagramı | 2 |
| 1.3. Buzdolabı ideal buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimi | 3 |
| 2.1. Buzdolabı boru bağlantı noktaları (şematik gösterim) | 8 |
| 2.2. Buzdolabı boru bağlantı noktaları (ürün üzerinde detaylı gösterim)..... | 9 |
| 2.3. Sistem gaz kaçağına neden olan soğutucu boru | 12 |
| 2.4. Buzdolabı kabin dibi bölgesi | 13 |
| 2.5. Alüminyum, bakır ve çelik hammadde fiyatının değişimi (€/kg) | 15 |
| 2.6. Olası soğutucu boru bağlantı opsiyonları | 15 |
| 2.7 İndüksiyon alanı oluşması | 18 |
| 2.8. İndüksiyon ile lehim örneği..... | 19 |
| 2.9. Kompresör bağlantısında indüksiyon ile birleştirme..... | 20 |
| 2.10. Kompresör Bağlantısında İndüksiyon ile birleştirme..... | 21 |
| 2.11. Örnek lokring bağlantıları | 21 |
| 2.12. Kullanıcı evinde yapılan lokring bağlantısına örnek..... | 22 |
| 2.13. Lokring kullanılarak yapılan bağlantıların şematik gösterimi..... | 23 |
| 2.16. (a) 20°C’de kürlendirilmiş (b) 80°C’de kürlendirilmiş numuneler | 30 |
| 2.17. Birleştirmenin dayanımına etkisi (a) 25 mm (b) 100 mm bindirme mesafesi..... | 31 |
| 2.18. Kürlenme ortamı basıncının birleştirme dayanımına etkisi..... | 31 |
| 2.19. Çeşitli tırtıl (knurling) makaraları | 32 |
| 2.20. Parçalar üzerine işlenmiş tırtıl işlemleri | 33 |
| 4.1. Alüminyum-alüminyum boru bağlantısı | 37 |
| 4.2. Bakır-bakır boru bağlantısı..... | 38 |
| 4.3. Çelik – çelik boru bağlantısı..... | 38 |
| 4.4. Boru bağlantılarının birleşme detayı | 38 |
| 4.5. Soğutucu borulara uygulanan tırtıl formları | 40 |
| 4.6. Basınç ölçüm test cihazı | 43 |
| 4.7. Çekme test cihazı..... | 44 |

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

| <u>Sekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|--|---------------------|
| 4.8. Tuzlu su sisi korozyon test cihazı..... | 45 |
| 5.1 Yapıştırma bağlantılı çelik boruların test sonrası görüntüsü | 50 |
| 5.2 Lehim bağlantılı çelik boruların test sonrası görüntüsü | 50 |
| 5.3. Çekme test cihazı çekme grafiği sonuçları..... | 51 |
| 5.4 Yapıştırma bağlantılı bakır boruların test sonrası görüntüsü | 52 |
| 5.5 Lehim bağlantılı bakır boruların test sonrası görüntüsü..... | 52 |
| 5.6. Çekme test cihazı çekme grafiği sonuçları | 53 |
| 5.7 Yapıştırma bağlantılı alüminyum boruların test sonrası görüntüsü..... | 54 |
| 5.8 Lehim bağlantılı alüminyum boruların test sonrası görüntüsü..... | 55 |
| 5.9. Çekme test cihazı çekme grafiği sonuçları | 55 |
| 5.10. Çelik boruların korozyon testi sonuçları | 57 |
| 5.11. Bakır boruların korozyon testi sonuçları | 57 |
| 5.12. Alüminyum boruların korozyon testi sonuçları..... | 58 |
| 6.1. Test sonuçlarına göre en iyi test sonucu alınan tırtıl desenleri..... | 59 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

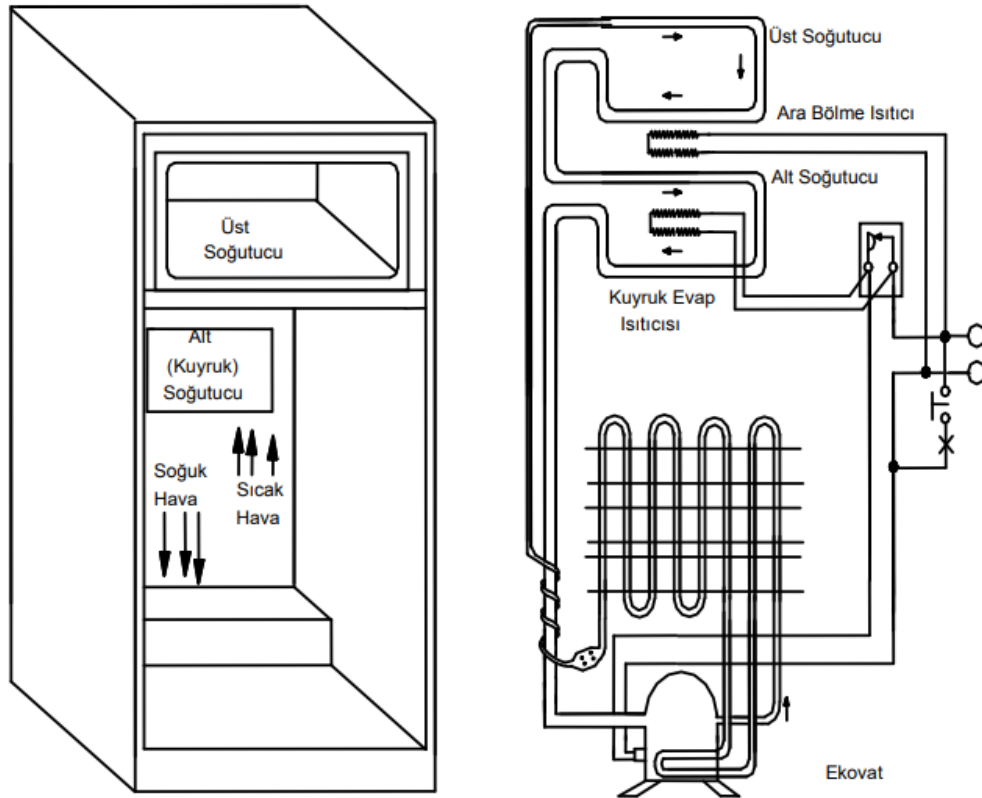
| <u>Cizelge</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|---------------------|
| 2.1. İki soğutma gazının karşılaştırılması..... | 11 |
| 2.2. Yapıştırma yönteminin üstünlükleri ve sınırları..... | 26 |
| 4.1. Deney numunesi kodlama sistemiği | 42 |
| 4.2. Yapılan tüm deneylerin ve testlerin özet çizelgesi | 46 |
| 5.1 Boru birleştirmelerine yapılan basınç testlerinin sonuçları | 47 |
| 5.2 Çelik Boruların çekme testi sonuçları | 49 |
| 5.3 Bakır Boruların çekme testi sonuçları | 51 |
| 5.4 Alüminyum Boruların çekme testi sonuçları..... | 54 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| <u>Simgeler</u> | <u>Açıklama</u> |
|-----------------|---|
| HC | Hidro karbon |
| T | Sıcaklık (K) |
| Q | Soğutma kapasitesi (kcal) |
| S | Entropi (kJ/kgK) |
| μ | Viskozite (Pa.s, kg/ms) |
| ρ | Yoğunluk (kg/m ³) |
| COP | Performans katsayısı |
| CFC | Kloroflorokarbonlar (sera etkisi olan gazlar) |
| R600a | Bir çeşit soğutucu gaz |
| R134a | Bir çeşit soğutucu gaz |
| R12 | Bir çeşit soğutucu gaz |
| Hz | Hertz |
| AC | Alternatif Akım |
| Bar | Basınç birimi |
| Rp0,2 | Çekme Dayanımı (MPa) |
| Rm | Akma Dayanımı (MPa) |
| Fm | Kopma Mukavemeti (MPa) |
| ITAB | Isı tesiri altında kalan bölge |

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Buzdolaplarındaki soğutma sistemi temel soğutma çevrimlerine dayanır. Sistemde bulunan temel elemanlar aşağıdaki şekilden de görüleceği üzere evaporatör, kondenser, kompresör ve genişleme valfidir. En genel tanımı ile soğutma, soğutulacak maddenin kendisinden daha düşük sıcaklıktaki bir madde ile ısı temas halinde bulunması durumunda gerçekleşir. Şekil 1.1’de no-frost bir buzdolabındaki genel soğutma çevrimi gösterilmiştir.

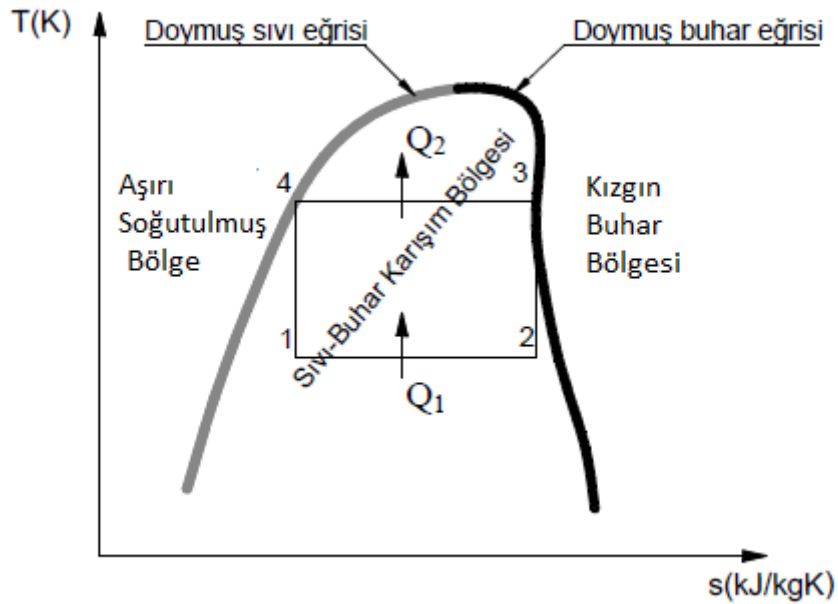


Şekil 1.1. Soğutucu çevrimi (MEB, 2012)

Buzdolaplarında veya daha geniş anlamda buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimlerinde, soğutma etkisi buharlaştırıcıda sıvı soğutkanın kabin içerisinden ısı çekerek buharlaşması ile gerçekleşir. Soğutkanın buharlaşma sıcaklığını belirleyen parametre ise basınçtır. Tüm sistem elemanlarında basınç ise yaklaşık olarak buharlaştırıcıdaki gazın sıcaklığına denk gelen doyma basıncındadır. Akışkanın çoğu en soğuk yer olan

buharlaştırıcıda bulunmaktadır ya da kompresörde yağın içinde çözülmüştür. Kompresör içindeki basınç arttıkça veya sıcaklık düştükçe yağın içinde çözünen akışkan miktarı artar.

İdeal şartlardaki soğutma çevrimini en iyi anlatan çevrim ters carnot çevrimidir. Şekil 1.2'den görülebileceği üzere bu çevrimde 1-2 arasında düşük T_1 sıcaklığındaki kaynaktan Q_1 ısı alınmakta 2-3 arasında adyabatik sıkıştırma yapılmakta, 3-4 arasında T_1 'den daha yüksek sıcaklıktaki T_2 sıcaklığındaki kaynağa Q_3 ısı verilmektedir ve 4-1 arasında adyabatik genişleme ile sıcaklık T_1 'e düşürülmektedir. Bu işlemler esnasında akışkandan çevreye ısı geçişi olmaktadır. Soğutucu tasarımlarında soğutucu akışkan gaz olarak R134a ya da R600a gazı kullanılmaktadır. (Yeşilata, 2007)

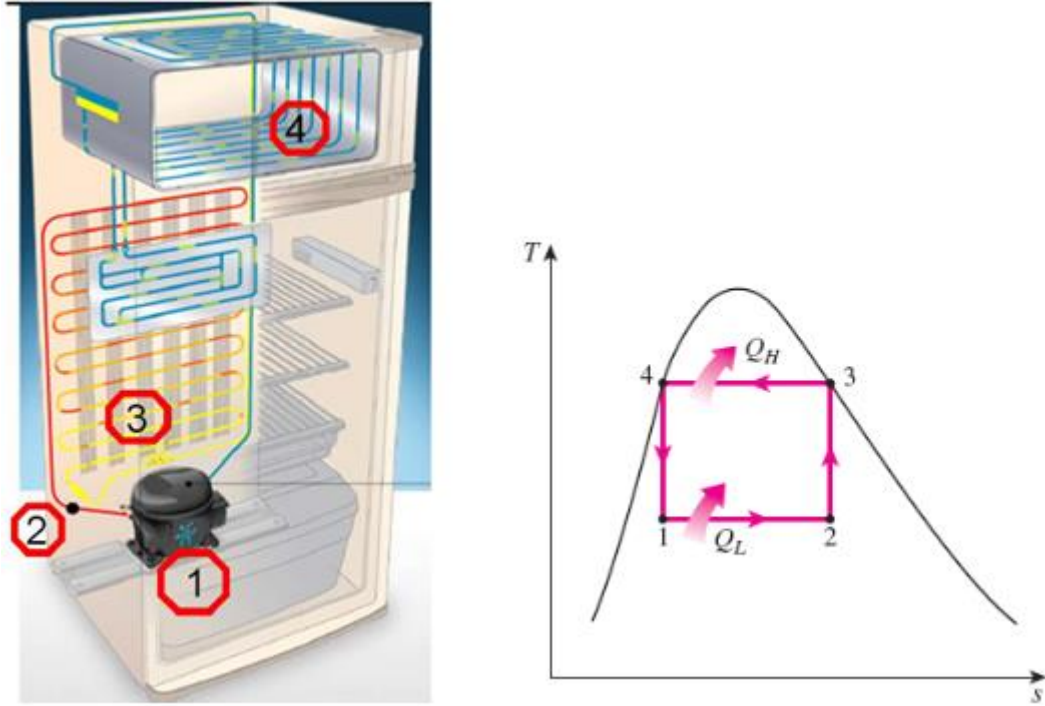


Şekil 1.2. Ters carnot çevriminin T-s diyagramı (Yılmaz, 2012)

Soğutucu akışkanın sıcaklığı üç halde de çevre sıcaklığının üzerindedir. Doymuş sıvı halindeki akışkan daha sonra bir genişleme vanası veya kılcal borular ile kompresöre gelerek buharlaştırıcı basıncına kadar kısılır. Bu hal değişimi sırasında soğutucu akışkanın sıcaklığı, soğutulan ortamın sıcaklığının altına düşer. Soğutucu akışkan gaz buharlaştırıcıya 4 halinde kuruluk derecesi daha düşük bir doymuş sıvı buhar karışımı olarak girer ve soğutulan ortamdan ısıyı alarak tümüyle buharlaşır. Soğutucu akışkan

buharlaştırıcıdan doymuş buhar halinde çıkar ve kompresöre girerek çevrim tamamlanır. (Incropera, 2007).

Yukarıda anlatılan çevrim, Şekil 1.3'te şematik olarak gösterilmektedir. Buzdolaplarının genel çalışma prensibi bu mantığa dayanmaktadır.

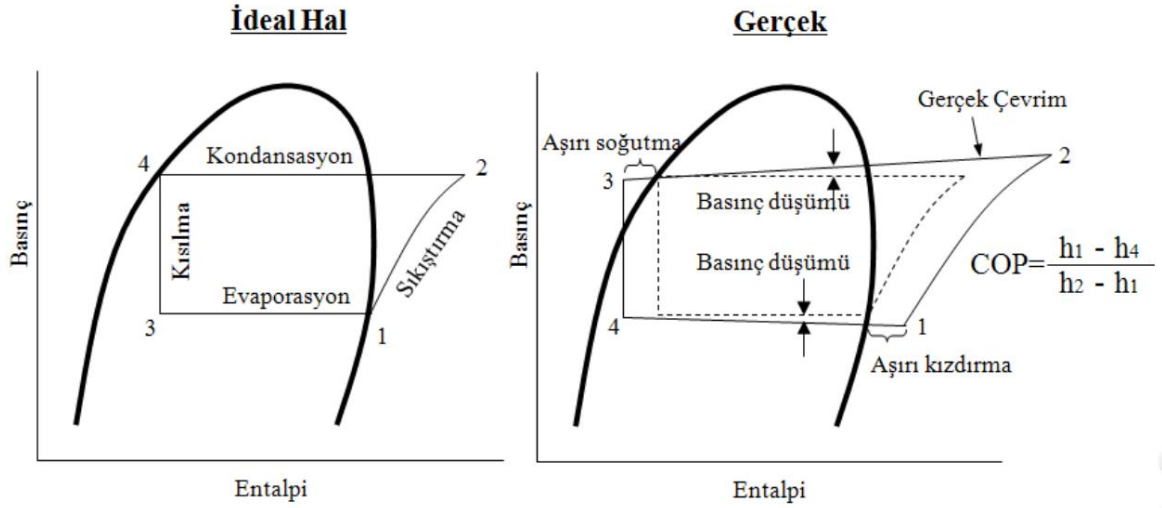


Şekil 1.3. Buzdolabı ideal buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi (Embraco, 2018)

İdeal çevrimde, kılcal borudaki işlemin, sabit entalpide gerçekleştiği kabul edilir. Kılcal borudan buharlaştırıcıya ıslak buhar bölgesinde giren akışkan burada buharlaşarak ortamdaki ısıyı çeker ve ortamın soğutulmasını sağlar. Buharlaştırıcıdan kompresöre doymuş buhar olarak gelen soğutucu akışkan, tekrar kompresöre girerek çevrime devam eder.

Gerçek çevrim, ideal çevrimden farklıdır. (Şekil 1.4). Burada sıkıştırma işlemi izentropik olmazken, kompresörden soğutucu akışkana ısı geçişi meydana gelir. Bu nedenle 1-2 noktaları arasında kalan eğri, kompresörün izentropik verimine bağlı olarak sağ tarafa doğru kayar. Kısılma işlemi de sabit entalpi altında gerçekleşmez. Ayrıca, kompresöre sıvı soğutucu akışkan gitmesi, kompresörde hasara neden olacağına, akışkan kompresör girişine doymuş buhar olarak değil, kızgın buhar fazında gönderilir. Sistem

güvenliği için soğutucu akışkan buharlaştırıcıdan 3-5 °C kızdırma derecesiyle ayrılırken bir miktar verim düşer. Kondenserde ise soğutucu akışkan sıvı doyma sıcaklığından, daha fazla soğutularak, aşırı soğuma bölgesine girer. Bu durum, soğutucu akışkanın buharlaştırıcıya daha düşük kuruluk derecesinde girmesini ve soğutma etkisinin artmasını sağlar. (Ünver, 2011)



Şekil 1.4 İdeal ve gerçek buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminin basınç-entalpi diyagramları (Ünver, 2011)

Termostat tarafından kompresöre çalışma emri verildikten sonra kısa bir süre içinde kompresör kalkış yaparak çalışma şartına çıkar. Kompresörün çalışmasından ilk etkilenen komponent yoğuşturucudur. Kompresörden gelen yüksek miktardaki akışkan sebebiyle yoğuşturucu basıncı buharlaştırıcı sıcaklığına karşı gelen doyma basıncından yoğuşturucu yüzey sıcaklığına karşı gelen doyma basıncına yükselir. Oluşan bu ani basınç artışının ardından yoğuşma başlar ve basınç artışı yavaşlar.

Başlangıçta kompresörden yoğuşturucuya geçen akışkan debisi yüksektir. Basınç arttıkça yoğuşturucudan çıkan akışkan kılcal boruya geçer. Kılcal borudan geçen akışkan miktarı, kompresörden giren miktara eşitlenene kadar yoğuşturucuda akışkan birikmeye devam eder. Çalışmanın başlamasından yaklaşık 7-8 dakika sonra akışkanın çoğu yoğuşturucuda sıvı olarak toplanmış olacaktır. Sıvı oluşumuyla beraber soğuma derecesi ve basınç artarak kılcal borudan geçen akışkan miktarını arttıracaktır. Aynı zamanda kompresörden gelen soğutkan miktarı emme basıncındaki düşüş, yoğuşturucu basıncındaki

artış ve kompresöre giren gazın aşırı kızma miktarının artması ile azalacaktır. Yaklaşık 5 ile 10 dakika arasında kılcal borudan geçen akışkan ve kompresörün debisi eşitlenerek sistem dengeye ulaşacak ve bu aşamadan sonra komponentlerdeki soğutkan miktarı büyük ölçüde değişmeyecektir.

Kompresörün çalışmasının ardından gelen birkaç saniyede buharlaştırıcı basıncı yaklaşık olarak sabit kalacaktır. Bunun sebepleri buharlaştırıcıda bulunan sıvı soğutkanın buharlaşması ve kompresördeki yağda çözülmüş olan soğutkanın buharlaşmasıdır. Ardından buharlaştırıcı basıncı soğutkanın çoğu yoğunlaştırıcıya basıldığı için düşecektir. Bu sebeple buharlaştırıcıyı terk eden gazın aşırı kızma derecesi soğutkan eksikliği ve düşük basınç sebebiyle yüksek değerlere çıkacaktır. Kısa bir süre sonra kılcal borudan geçen soğutkan miktarının tekrar artması ile buharlaştırıcı yeniden soğutkan ile dolacaktır.

Belli bir süre için buharlaştırıcı sıcaklığı düşse de kabin sıcaklığı artmaya devam edecektir. Bunun sebebi buharlaştırıcı yüzey sıcaklığının, havaya çevreden ısı geçişi ile buharlaştırıcı yüzeyinden olan ısı geçişinin dengelendiği sıcaklığın altına düşmemiş olmasıdır.

İç yüklere ve kabinin ısı kazancına bağlı olarak, belli bir süre sonra termostat sıcaklığına ulaşılacak ve kompresör kapanacaktır. Kompresörden akış, anında kesilirken kılcal boru akışı basınç dengelenmesi gerçekleşene kadar sürecektir. Sırasıyla yoğunlaştırıcı sıvı akışkandan arınacaktır. (Tosun, 2010)

Soğutma sistemi çevriminde yukarıda bahsedildiği şekilde sistem elemanlarının arasındaki bağlantıları, içinden akışkan gazın geçebileceği soğutucu borular aracılığıyla yapılmaktadır. Bu çalışma kapsamında ev tipi buzdolaplarında kullanılan soğutucu boruları ve bağlantıları incelenmiştir. Soğutma sisteminin tasarımında, gerektirdiği durumlara ve kullanılacak akışkan gaza göre boru çapları ve kullanılacak boru malzemelerinde çeşitli alternatifler mevcuttur.

Malzemesine göre bakacak olursak; bakır, alüminyum ve çelik soğutucu borular kullanılmaktadır. Boru çapına göre ise; 4,76 mm, 6,35 mm ve 7 mm çaplarında soğutucu boruların kullanıldığını görülmektedir.

Soğutucu boruların birleştirilmesi için sektörün geneline bakıldığında lehim ile alev altında birleştirme metodunun kullanıldığını görülmektedir. Fakat bu prosesin kontrol altında tutulması zor ve operatörler tarafından yapıldığı için hata oranı yüksektir. Bu tez kapsamında lehim yönteminin yerine kullanılabilecek alternatif boru bağlantı yöntemleri ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Özellikle gelecekte daha sık kullanılma potansiyeli olan yapıştırma bağlantılarının iyileştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Belirlenen birleştirme yöntemlerine göre çeşitli deney setleri oluşturulmuş ve bu bağlantı yöntemlerinin çeşitli test şartlarında kalitesi ve kullanılabilirliği belirlenmeye çalışılmıştır.

2. SOĞUTMA SİSTEMİ BORU BAĞLANTILARI

Bu bölümde soğutucu sisteminde kullanılan gazlar, boruların sahip olduğu özellikler ve bu boruların bağlantı yöntemlerine yönelik olarak genel bilgilere yer verilmiştir.

2.1. Soğutma Sistemindeki Boru Bağlantı Birleşim Noktaları

Temel bir soğutma çevrimine sahip olan buzdolabı tasarımlarında Şekil 2.1 ve Şekil 2.2’de görüldüğü gibi on iki farklı noktada boru bağlantısı yapılmaktadır. Bu bağlantıların istenilen kriterlere uygun olarak yapılamaması durumunda birçok problemle karşılaşmaktadır. Bu 12 adet bağlantı noktası irdelenecek olursa boru bağlantı noktaları aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

2.1.1. Kompresör Bölgesi

1. Kompresör giriş borusu
2. Kompresör gaz şarjı giriş noktası
3. Kompresör gaz borusu körleme noktası
4. Kompresör – soğutucu boru bağlantısı

2.1.2. Kondenser Bölgesi

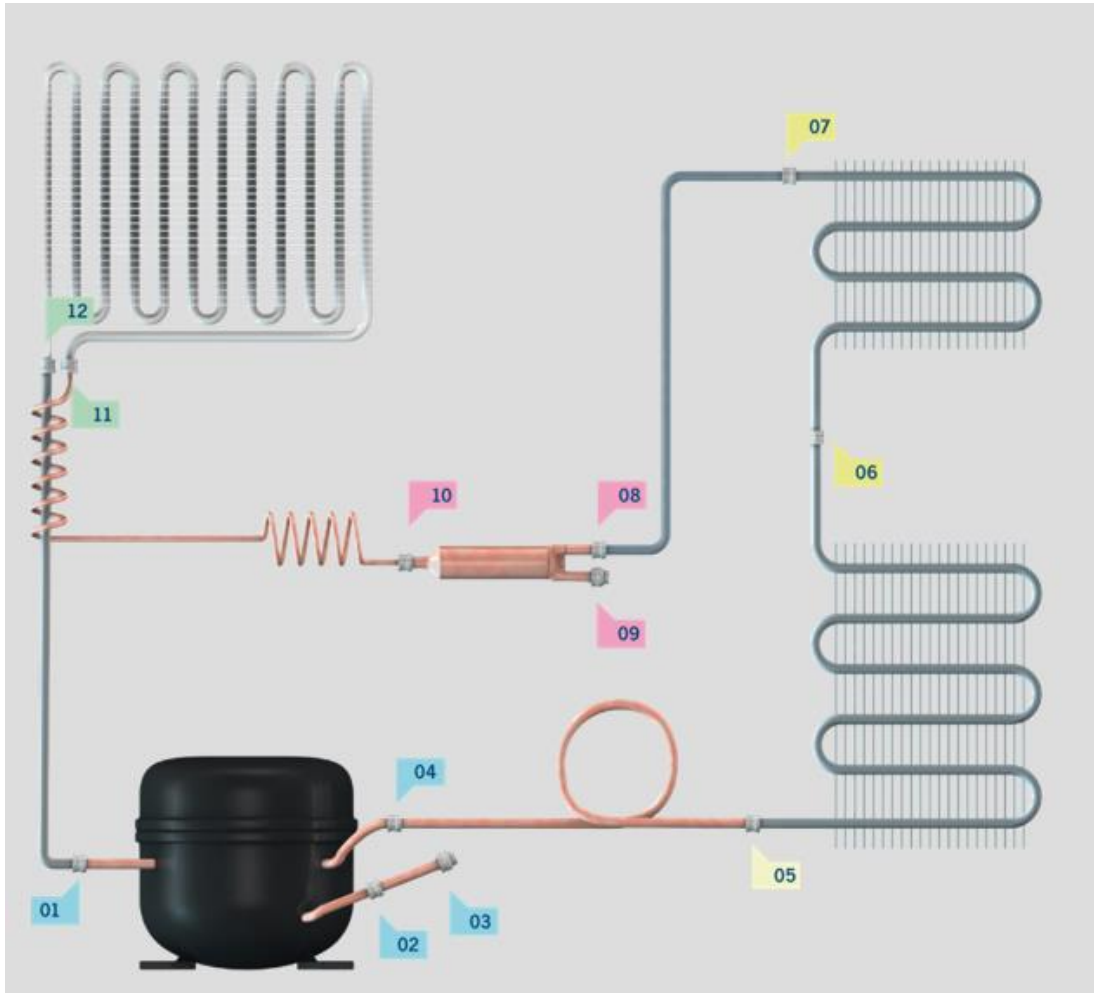
5. Kondenser giriş borusu
6. Kondenser çıkış borusu
7. Kondenser’den sıcak hatta gidiş borusu

2.1.3. Drayer (Kurutucu) Bölgesi

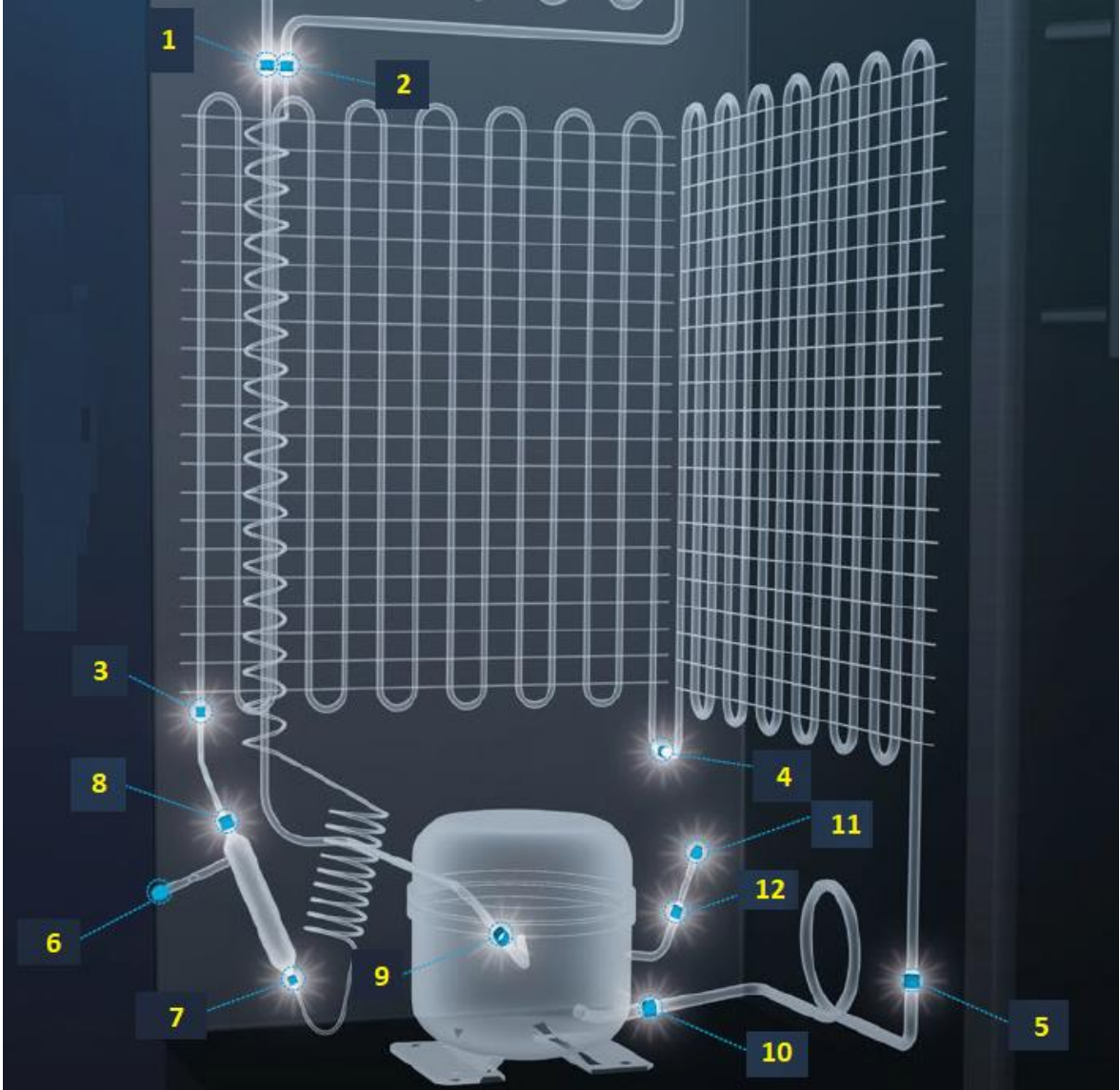
8. Sıcak hattan drayer'e geçiş borusu
9. Drayer kapatma kısma noktası
10. Drayer'den kapileri'ye bağlantı noktası

2.1.4. Evaporatör Bölgesi

11. Kapileriden evaporatöre giriş
12. Evaporatörden çıkış noktası



Şekil 2.1. Buzdolabı boru bağlantı noktaları (şematik gösterim) (Vulkan, 2018)



Şekil 2.2. Buzdolabı boru bağlantı noktaları (ürün üzerinde detaylı gösterim)
(Vulkan, 2018)

2.2. Soğutma Sisteminde Kullanılan Soğutucu Akışkan Gazlar

Soğutucu akışkan, soğutma çevriminin yapılabilmesi için en temel elemanıdır. Çevreye olan etkisi ve soğutma performansına bağlı olarak çeşitli tiplerde soğutucu akışkan gazlar kullanılmaktadır. Kullanılan bağlantı yöntemi olarak lehim yerine kimyasal yapıştırıcılar ile birleştirme tercih edildiğinde soğutucu akışkan gaz ile ilgili yapıştırıcının kimyasal özelliklerine ve birbiri ile ilişkileri de incelenmelidir. Ev tipi soğutucularda kullanılan iki temel soğutucu akışkan bulunmaktadır.

2.2.1. R134a

R134a (CF₂CH₂F), halen ozon tüketme katsayısı sıfır olan ve diğer özellikleri açısından en uygun soğutucu maddelerden biridir. Araç soğutucuları ve ev tipi soğutucular için en uygun olan alternatiftir. Ticari olarak da temini olanaklıdır. Yüksek ve orta buharlaşma sıcaklıklarında ve / veya düşük basınç farklarında kompresör verimi ve sistemin COP (coefficient of performance) değeri R12 gaz ile yaklaşık aynı olmaktadır. Düşük sıcaklık için çift kademeli sıkıştırma gerekmektedir. R134a, mineral yağlarla uyumlu olmadığından poliolester veya poliolalkalinglikol bazlı yağlarla kullanılmalıdır. Ozona etkisi olmamasına rağmen sera gazı etkisi oluşturduğundan dolayı kullanımından vazgeçilmeye başlanmıştır. (Gürler, 2006)

2.2.2. R600a

Buzdolaplarında yüksek verimlilikte ürün tasarlayabilmek için R600a gazı kullanılmaktadır. Çünkü bu gaz kullanıldığında aşırı kızdırma verimi daha iyi çıkmaktadır. Aynı zamanda çevreci olması ve emisyon etkisinin R134a'ya göre daha düşük olması sebebiyle Dünya'daki tüm ülkelerde yeni regülasyonlarla bu gazın kullanılması zorunlu hale getirilmektedir. Fakat bu gazın patlayıcı olma riskinden dolayı mutlaka bu gazın kullanıldığı ürünlere hidrokarbon testi yapılmalıdır. Aksi durumda ölümlü kazalara dahi yol açma riski bulunmaktadır.

Çevre ve ozon dostu olması, enerji ve performans verimlilikleri açısından R600a gazı özellikle Avrupa'da oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Soğutucu akışkan R600a veya izobütan evlerdeki soğutucularda kullanılan ve diğer soğutucularla değiştirilmesi kolay olan bir gazdır. R600a gazı ozon tabakasına zararlı değildir ve global ısınma potansiyeli ihmal edilebilir düzeydedir ve doğal kaynaklardan elde edilen petrol gazıdır. 1940'lardan sonra soğutucularda kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde Avrupa'da üretilen (özellikle Almanya'da) ev tipi soğutucular ve dondurucuların %90'ında R600a soğutucu kullanılmaktadır. R600a'nın bütün dünyada yaygınlaşmasıyla CFC'lerle (Sera Etkisi Olan Gazlar) yer değiştirmesi gündeme gelmeye başlamıştır. Bu uygulama için oldukça uygundur. İyi enerji verimliliği vardır, değişik noktalardaki çok farklı

karakteristiğiyle dizaynlara uyarlanabilir. Özellikle çabuk tutuşmasına dikkat edilmelidir. R134a gazı; ozon tabakasına zarar vermemekte, ancak "green house (sera etkisine)" yol açmaktadır. Green house etkisi, petrol fosili türevi çoğu gazda görülen, "atmosferin ısı önleme özelliğini azaltma etkisi" şeklinde açıklanabilir. Bu etki sonucu, yerkürenin ısı artmaktadır. Çizelge 2.1'de R600a ve R134a'nın soğutma özellikleri mukayese edilmiştir. (Gürler, 2006)

Çizelge 2.1. İki soğutma gazının karşılaştırılması (Gürler, 2006)

| Soğutucu | R600a | R134a |
|--|------------------------------------|------------------------------------|
| İsim | İzobütan | 1,1,1,2-Tetra Florethan |
| Formül | (CH ₃) ₃ CH | CF ₃ -CH ₂ F |
| Kritik Sıcaklık (°C) | 135 | 101 |
| Moleküler Ağırlık (kg/kmol) | 58,1 | 102 |
| Normal Kaynama Noktası (°C) | -11,6 | -26,5 |
| Basınç -25 °C bar (mutlak) | 0,58 | 1,07 |
| Akış Yoğunluğu -25 (°C) kg/l | 0,6 | 1,37 |
| Hacimsel Kapasite -25/55/32 (°C) kJ/m ³ | 373 | 658 |
| Buharlaşma Entalpisi -25 kJ/kg | 376 | 216 |
| Basınç +20 °C bar (mutlak) | 3 | 5,7 |

2.3. Soğutucu Boru Kaynaklı Soğutma Sistemlerinde Yaşanan Problemler

Buzdolabı ürününün soğutma sistem tasarımlarında boru bağlantısı kaynaklı iki temel problem bulunmaktadır. Ürünlerde yaşanabilecek bu problemler sebebiyle "buzdolabı soğutmuyor" hatası yaşanmakta ve ürünü kullanan kişiler bu sebeple mağdur olmaktadır.

2.3.1. Gaz Kaçak Problemi

Ev tipi bir soğutucuya ürünün soğuttuğu hacme bağlı olarak 40 gr ile 100 gr arasında soğutucu akışkan gaz kullanılmaktadır. Kapalı çevrimde çalışan soğutma sistemine gaz doldurmadan önce tüm sisteme vakum yapılarak ortamda bulunan nem ve diğer gazların sistem dışarısına çıkarılması sağlanır. Bu işlemden sonra da sisteme gaz verilir. Sistem tasarımı doğru yapıldıysa ve istenen kadar gaz sistemde bulunuyorsa buzdolabı soğutma sistemi doğru çalışıyor demektir.

Boru bağlantılarının düzgün yapılamaması durumunda eğer gaz kaçağı yüksek miktarlardaysa (10 gr ve üstü) sistemin yeterli soğutmayı yapmadığı ilk çalışmada tespit edilebilir. Fakat buradaki gaz kaçağı (10 gr ve altı) ise bu tarz bir gaz kaçağı boru bağlantı noktalarında oluşan kılcal çatlaklardan ve belirli bir zaman içinde meydana gelir. Buradaki kılcal çatlakın büyüklüğü ve yerine bağlı olarak “buzdolabı soğutmuyor” problemi 3 yıl ve sonrası tarihlerde meydana gelebilir. Bu durum kullanıcılar için ciddi zorluk oluşturmaktadır. Şekil 2.3’te gaz kaçağı meydana gelmiş boru görülmektedir.



Şekil 2.3. Sistem gaz kaçağına neden olan soğutucu boru

Sistem çalışırken kompresör kaynaklı meydana gelen titreşim sonucu eğer soğutucu borular gerektiği kadar birbirinden yalıtılmadıysa, boruların birbirine temas etmesi sonucu borular arasında adhezif aşınma meydana gelmektedir. Bu durumda da uzun vadede gaz kaçak problemleri yaşanabilmektedir. Şekil 2.4’te bir buzdolabına ait kabin dibi bölgesi ve boru bağlantıları görülebilir.



Şekil 2.4. Buzdolabı kabin dibi bölgesi

Gaz kaçağının bir diğer nedeni ise soğutma borularının birleştirmesinin doğru yapılmasına rağmen nakliye şartları esnasında borularda meydana gelebilecek hasarlanmalar sebebiyledir. Bu durumlarda da üretim ve test aşamasında problem olmamasına rağmen nakliye sonrası oluşan mikro çatlaklar sebebiyle kullanıcıda “ürün soğutmuyor” kaynaklı problemler meydana gelmektedir.

2.3.2. Soğutma Boruları İçinde Yabancı Cisim Bulunması

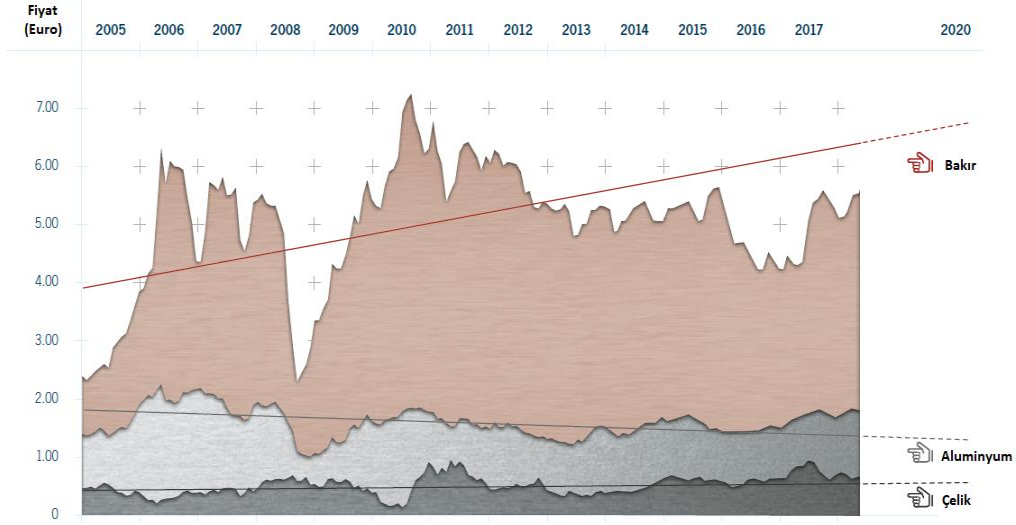
Soğutma sistemi çevriminde sistemin bağlantıları yapılırken kullanılan bağlantı elemanlarının içinde çapak, toz v.b. kalıntıların kalması sebebiyle sistemde bulunan kılcal borular, drayer v.b. soğutma elemanlarından bir kalıntı parçalar sebebiyle soğutucu akışkan gazın hiç geçmemesi / ya da olması gerekenden az geçmesi sebebiyle “soğutma sistemi tıkalı” problemi ile karşılaşılmaktadır. Bu durum oluştuğunda da doğal olarak ürün soğutmuyor problemi görülmektedir. Bu problemin engellenebilmesi için öncelikli olarak sistem elemanlarının gruplanmadan önce kalıntı parça, çapak v.b. içermediğinden mutlaka emin olunmalıdır. Bir diğer önemli hususta boru bağlantısı birleştirmesi esnasında kullanılan ilave malzemenin istenen oranda kullanıldığından ve ergitme sıcaklığının doğru olduğundan emin olunmalıdır.

Yukarıda belirtilen problemlerin meydana gelmesinde en önemli etken boru bağlantısı birleştirme işinin otomasyon şeklinde yapılamaması ve konu ile ilgili kalifiye elemana ihtiyaç duyulmasından kaynaklanmaktadır. Yüksek adetlerde üretim yapan sistemlerde de operatöre bağlı olan operasyonlar olduğunda var olan kalite problemleri iyileştirilebilmekte fakat %100 ortadan kaldırılamamaktadır. Bu yüzden üretim sistemlerinde birçok kalite kontrol noktası oluşturulmuş ve kullanıcıya hatalı ürün gitme ihtimali minimize edilmeye çalışılmıştır.

Soğutma boruları kullanıldığı yere, malzemesine ve çap bilgisine göre çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir. Malzemesine göre soğutma elemanı olarak kullanılan boruları üç ana başlık altında inceleyebiliriz.

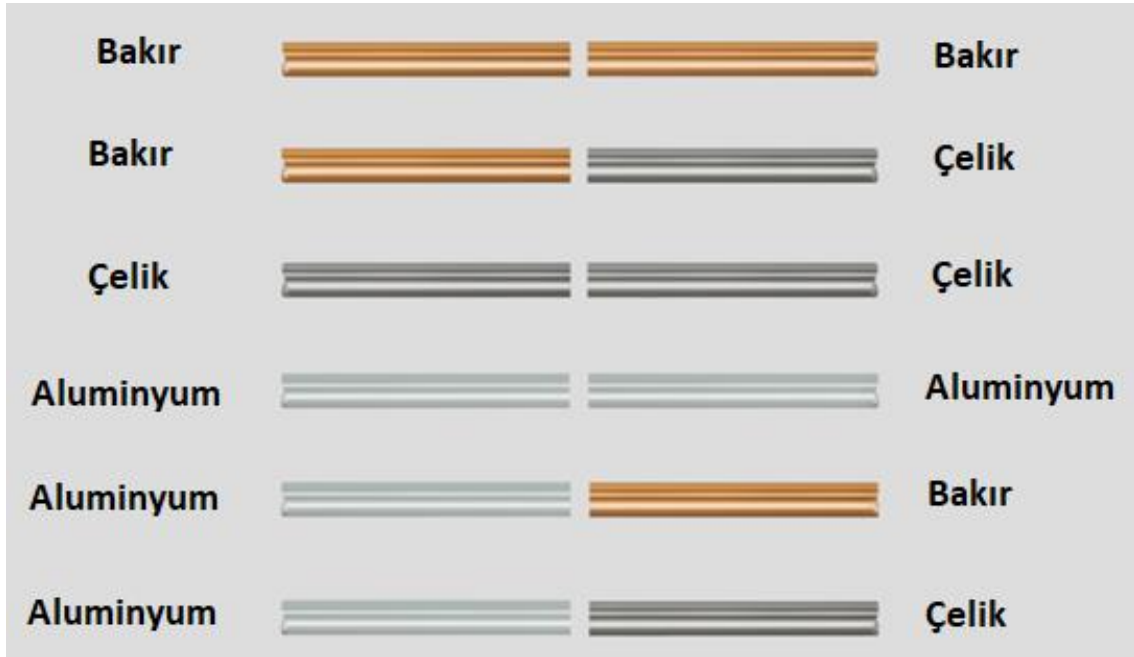
1. Alüminyum boru
2. Bakır boru
3. Çelik boru

Soğutma sistemleri tasarımında en verimli şekilde kullanılan boru bağlantısı bakır borulardır. Sistemin enerji verimliliği en iyi bakır borular kullanılarak sağlanabilmektedir. Fakat bakırın kilogram fiyatının yüksek oluşu sebebiyle, üreticiler genellikle bakır boru kullanmaktan kaçınırlar. Şekil 2.5'te verilen çizelge de yıllar boyunca alüminyum, çelik ve bakır boruların kilogram başına fiyatının değişimi verilmiştir. Bakır hammaddenin yıllar içerisinde kilogram başına olan fiyatında gittikçe daha çok artış beklenmektedir. Bu nedenle tasarımın imkân verdiği yerlerde bakır yerine çelik ya da alüminyum borular tercih edilmektedir.



Şekil 2.5. Alüminyum, bakır ve çelik hammadde fiyatının değişimi (€/kg) (Vulkan,2018)

Soğutma sistemlerinde boru malzemelerinin birleştirilmesi kendi aralarında olduğu gibi birbirlerinin kombinasyonu şeklinde lehim yapılmasının gerekli olduğu durumlarda mevcuttur. Şekil 2.6'da olası tüm kombinasyonlar gösterilmiştir. Yapılan tez kapsamında örneklem sayısını arttırmamak için iki aynı malzemenin birleştirilmesi üzerinden testler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.6. Olası soğutucu boru bağlantı opsiyonları (Vulkan,2018)

2.4. Soğutucu Boruların Birleştirilme Yöntemleri

Çeşitli çaplarda ve farklı malzemelerden bir araya gelen soğutucu boru bağlantılarının birleştirilmesinde temel olarak beş yöntem kullanılmaktadır.

1. Alevle (ilave malzeme kullanarak) lehim yöntemi
2. İndüksiyon ile ısıtma yöntemi
3. Lokring ile boruların birleştirilmesi
4. Yapıştırıcı kullanılarak birleştirme yapılması.

2.4.1. Alevle (ilave malzeme kullanarak) lehim yöntemi

Yukarıda bahsedilen beş yöntemden piyasa şartlarında en çok kullanılan yöntem lehim yöntemidir. Operasyon maliyetinin ucuz olması sebebiyle sektörde tercih edilmektedir. Buna rağmen sağladığı avantajların yanında çeşitli dezavantajlara da sahiptir. En önemli problem; lehim bağlantısının düzgün yapılamadığı durumlarda soğutma sistemi çevriminde kullanılan soğutucu akışkan gazın boru bağlantısından kaçması nedeniyle yaşanan gaz kaçak problemi.

İki metal malzemeyi ısı, basınç veya her ikisini birden kullanarak, aynı cinsten ya da erime aralığı birbirine yakın bir malzeme kullanarak veya ilave malzeme katarak ya da katmadan birleştirmeye "lehim" adı verilir. İki parçanın birleştirilmesinde ilave bir malzeme kullanılırsa, bu malzemeye "ilave metal" adı verilir. Çoğunlukla lehim işlemi yapılırken ilave metal kullanılmaktadır.

Soğutucu boruların lehimini yapabilmek için geleneksel şaloma ideal değildir. Bir halka yapısı üzerine monte edilmiş çift nozullu modeller önerilir. Bu sayede borunun her iki tarafında da şaloma uygulanması imkânı oluşur. Böylece daha yüksek kalite, daha az alev hareketi, daha hızlı ön ısıtma ve ayrıca daha yüksek lehim girişi sağlanmış olur. (Borsen Boru, 2018)

2.4.1.1. Buzdolaplarında Lehim İşleminin Yapılması

1. Yağ, kir veya herhangi başka bir maddenin kalıntılarını ortadan kaldırarak, lehimlenecek olan boru için öncesinde gerekli operasyonların yapıldığından emin olunur. Eğer boru üzerinde boya varsa, zımpara yardımıyla üzerindeki boya kaldırılır.

2. İki borunun birbirine bağlantısı için özel olarak ayarlanmış bir ucu şişirilmiş olan borular kullanılır. Bu sayede borular birbirleri ile birleştirilir. Bir boru diğer borunun içine en az 10 mm olacak şekilde sokulur.

3. Oksijen ve asetilen gaz tüplerinin üzerindeki basınç regülatörlerini ilgili oranlar ayarlanarak şaloma hazırlanır.

4. Lehimlenecek olan materyale göre şaloma üzerindeki nozül ayarlanır.

5. Şaloma hazır olduktan sonra lehim yapılacak boruya göre uygun alev seçimi yapılır.

- Bakır-bakır, bakır-çelik ve çelik-çelik lehim bağlantıları için “nötr alev” (oksijen ve asetilenin eşit hacimleri) ayarlanır.
- Pirinç lehim bağlantıları için “oksitleyici alev” (daha fazla oksijen hacmi) tercih edilir.
- Alüminyum ve bakır boruları çelik borular ile lehimlerken de “yakıt alevi” (aşırı asetilen) kullanılmalıdır.

6. Bu işlemden sonra, uygun lehim teli seçilir. Eğer lehim bakır-bakır değilse, ayrıca uygun sulandırıcı maddenin kullanımı da ayarlanır. (Oksit oluşumundan kaçınmaya, çubuk ve boru arasındaki bağlantıyı kolaylaştırmaya hizmet eder).

7. Boru birleştirmenin yapıldığı yerde eğer uygulanabilir ise, genişletilen borunun bitişiinde bir çubuk veya bir fırça kullanarak sulandırıcı madde yayılır.

8. Alev 2 cm kadar uzakta tutularak ve dairesel hareketler yapılarak lehimlenecek olan borular önceden ısıtılır.

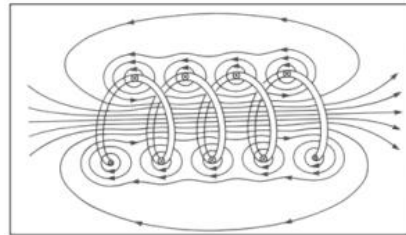
9. Isıtma işleminden sonra, alev genişletilen borunun bitiş noktasına doğru tutulur ve her bir malzeme tipine göre lehim işlemine devam edilir.

1. Bakır-bakır lehim yapılması: Alev, borular kızarana kadar boruların üzerinde tutulur, ardından genişletilen ek üzerindeki çubuğun ucuna dokunulur ve boru çevresi lehimi yapılır
2. Bakır-çelik veya çelik-çelik: Sulandırıcı madde renk açısından parlak olana kadar alev tutulur ve ardından genişletilen ek üzerindeki çubuğun ucuna dokunulur ve boru çevresinin lehimi yapılır. Lehim borunun çevresine aktığında alev geri çekilir.

10. Lehim işlemi bittikten sonra lehim bölgesi kontrol edilir. Gözle kontrolün ardından buzdolaplarına vakum işlemi yapılır. Ardından soğutucu gaz enjekte edilerek operasyon tamamlanır. (Candaş Teknik, 2018)

2.4.2. İndüksiyon ile ısıtma yöntemi

Michael Faraday tarafından keşfedilen indüksiyon, iletken malzemedan yapılan bir bobinden akım geçirilmesi ve bunun sonucunda manyetik alan oluşması prensibine dayanır. Manyetik alanın iş yapabilme özelliği, bobin tasarımına ve bobinden geçen akım miktarına bağlıdır.



Şekil 2.7 İndüksiyon alanı oluşması (anonim)

Şekil 2.7’de manyetik alan, bobin içinden ve etrafından geçen doğrular şeklinde gösterilmiştir. Manyetik alanın yönü akımın geçiş yönüne bağlıdır; dolayısıyla bobinden geçen alternatif akım, manyetik alan yönünün alternatif akım frekansıyla aynı hızda

değişmesine yol açacaktır. 60Hz AC akım, manyetik alanın bir saniyede 60 kez yön değiştirmesine sebep olur. 400kHz AC akım ise manyetik alanın bir saniyede 400.000 kez yön değiştirmesine neden olur. Bu etki ile manyetik alanın olduğu bölgede sıcaklık artışı meydana gelir. Şekil 2.8'te bu durumun gerçek bir örneği gösterilmiştir.



Şekil 2.8. İndüksiyon ile lehim örneği

İletken malzemedan bir iş parçası bir değişken manyetik alan içine yerleştirildiğinde, iş parçasında gerilim indüklenmesine sebep olur. İndüklenen gerilim de elektron akışına, yani akıma yol açar. İş parçasında akan akım, bobindeki akıma ters yönlüdür. Bu da bobindeki akımın frekansını kontrol etmek suretiyle iş parçasındaki akımı kontrol edebileceğimiz anlamına gelir.

Bir malzemedan akım geçtiğinde, elektronların hareketine karşı bir direnç oluşur. Bu direnç kendini ısı olarak gösterir. Elektron akışına daha fazla direnç gösteren malzemelerin içlerinden akım geçtiğinde üretecekleri ısı daha yüksek olacaktır. Buna rağmen indüklenmiş akım kullanılarak yüksek iletkenliğe sahip malzemelerin de (bakır gibi) ısıtılması mümkündür. Bu olgu, indüksiyonla ısıtmada kritik öneme sahiptir.

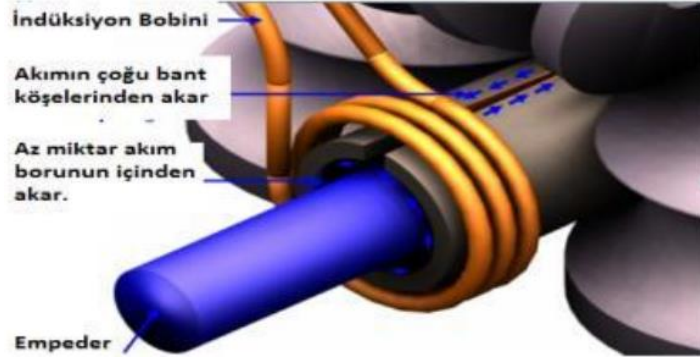
Yüksek frekanslı akım kullanılarak ısıtmanın yanında aynı zamanda lehim işlemleri de yapılmaktadır. İndüksiyonda kullanılan şerit uçlarından akım geçerken uygun lehim

sıcaklığına (malzemenin ergime sıcaklığı altındadır) ulaşılır. Bu uçlar birbirine bastırıldığında, katı hal dövme kaynağı elde edilecek şekilde tüm pislik, oksit ve diğer safsızlıklar dışarı atılır. (Inductotherm, 2018) Şekil 2.9'da kompresör bağlantısında kullanılan lehim bağlantısına örnek gösterilmiştir. Alev gerek kalmadan gerekli bağlantı bu yöntemle kolaylıkla yapılabilmektedir. Lehim esnasında alev olmadan operasyonun yapılması sayesinde, soğutucu boruya yakın bölgede olan diğer parçalara alev ile zarar verilmesinin önüne geçilmiş olur.



Şekil 2.9. Kompresör bağlantısında indüksiyon ile birleştirme (Ultraflex.com,2018)

Yüksek frekans indüksiyon ile birleştirme ise şekil 2.10'daki gibi bakır indüksiyon bobinini birincil, lehim edilecek açık boruyu ikincil olarak nitelendirilebilecek transformatör mantığıyla çalışan bir düzendir. İndüksiyon bobininin oluşturduğu manyetik alan ile oluşan indüklenmiş akım, borunun yarık olan kısmından ve iç yüzeyinden devreyi tamamlar. Borunun içinde bulunan indüksiyon bobini hizasındaki empedans, borunun iç yüzeyinden devreyi tamamlayan akım miktarını azaltır. Akımın geçtiği köşeler joule yasasına göre ısınır ve kaynak altı makaraları yardımıyla gerekli basınç oluşturularak istenilen lehim elde edilir. (Gündoğdu,2012)



Şekil 2.10. Kompresör Bağlantısında İndüksiyon ile Birleştirme (Gündoğdu,2012)

2.4.3. Lokring Sistem ile boruların birleştirilmesi

Bu yöntem özellikle alev ile lehim yönteminin dezavantajları düşünülerek keşfedilmiş bir mekanik bağlantı yöntemidir. Özellikle kullanıcıların evlerinde alev kullanarak lehim operasyonu yapılmasının zorluğundan dolayı servis çözümü olarak daha çok tercih edilen bir yöntemdir. Seri üretimde de bu yöntemin kullanılması mümkündür. Lehim yapılan bölgede plastik parçalar olduğunda alevli lehim ile bu bölgeler kontrol altında tutularak lehim yapılması çok zordur. Bu tarz durumlar için kullanışlı bir yöntemdir. Şekil 2.11’de örnek bağlantılar görülebilir.



Şekil 2.11. Örnek lokring bağlantıları (Vulkan,2018)

Bu yöntem ‘‘Vulkan’’ adlı firma tarafından geliştirilmiş ve tüm buzdolaplarında çözüm olarak kullanılmaya başlanmıştır. İlgili birleştirme işlemi Vulkan tarafından tasarımı yapılımiş zel Lokring konnektörleri ile buna özel geliştirilmiş pense ve Lokprep mührü kullanılarak yapılmaktadır. Sistemin en büyük dezavantajı operasyon maliyetidir. Alevle lehim yapma yöntemine göre daha pahalı bir yöntemdir. Ayrıca sadece bir firma tarafında yapılabilen ve patentle korunan bir teknolojik zm olduğundan bazı buzdolabı üreticileri bu yöntemi kullanmaktan kaçınmaktadır. Şekil 2.12’de bu bağlantıların evde rahatlıkla yapılabil-diğini gösteren bir örnek bulunmaktadır.



Şekil 2.12. Kullanıcı evinde yapılan lokring bağlantısına rnek (Vulkan,2018)

Sistem; elik, alüminyum, bakır ve pirinç gibi soğutma sistemlerinde yaygın olarak kullanılan tüm metal borular için uygundur. Ayrıca, alüminyum-bakır, alüminyum-elik, vs. gibi farklı materyallerden yapılan borular arasında da yapılabilir. 1.6 mm ile 35.0 mm arasında değişen çaplar için boru konnektörleri mevcuttur.

Lokring sistemi bağlantısı 4 aşamada gerçekleştirilir.

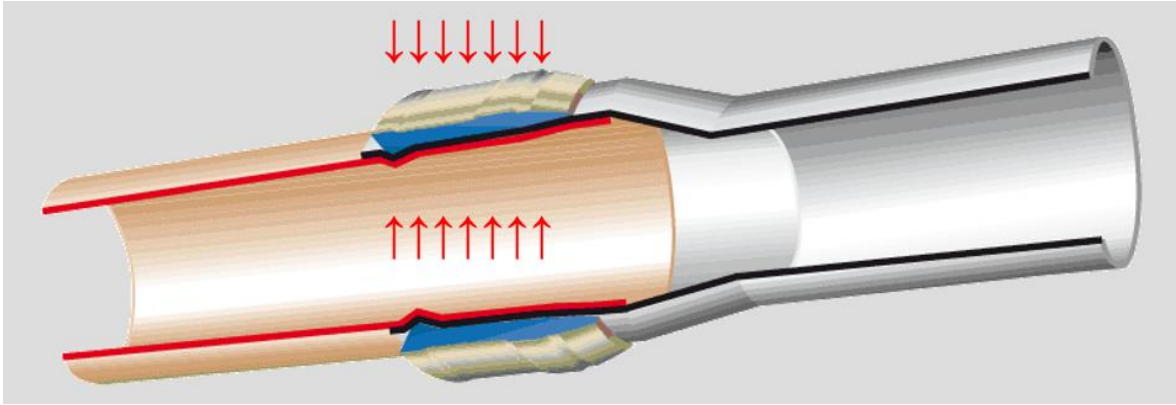
1. Bağlantıyı yapmadan önce, boruların bitiş noktaları temizlenir ve dairesel yönde olacak Şekilde zımparalanır ve parlatma yapılır. Bu uçlar, yansıyan metal parlaklığına sahip olmalı ve boyutsal farklılıklar olmamalıdır.

2. Lokprep tüpünü borunun dıŐına olacak Şekilde döndürerek borunun bitiş noktasında 360 derecelik Lokprep dolgu macunu uygulanır. Tıkanma olasılığından kaçınmak amacıyla dolgu macununun, boru iÇine girmemesinin sağlandığından emin olunmalıdır.

3. Borunun bitiş noktası, Lokprep ile birlikte karŐılıđındaki borunun iÇine yerleŐtirilir. Soğutucu borunun, konnektörün iş sınırına kadar olan bölüme oturtulduğundan ve bu konumda kaldığından emin olunmalıdır.

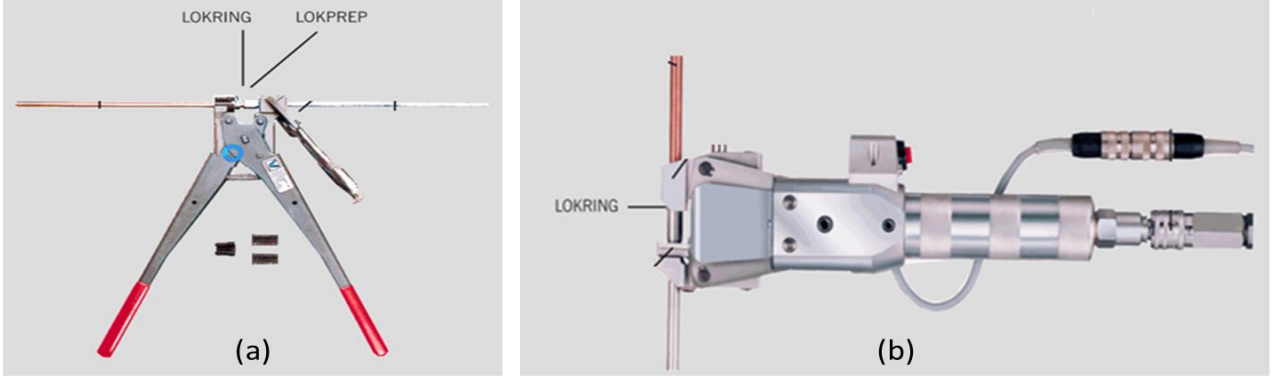
4. Özel el pensesin sıkma ağzı, birleştirme yapılacak bölgeye boru bağlantılarının arkasından yerleŐtirilir. Lokring aŐsal olarak kayana kadar ve en son montaj konumunda durana kadar el pensesi sıkılır. Bu sayede birleştirme işlemi tamamlanmıŐ olur.

Lokring bağlantısının Şematik olarak gösterimi Şekil 2.13'te gösterilmiştir.



Şekil 2.13. Lokring kullanılarak yapılan bağlantıların Şematik gösterimi (Vulkan,2018)

Lokring bağlantısı esnasında kilitleme işlemi manuel el pensesi ile yapılabildiği gibi aynı zamanda seri üretime uygun olarak düşük çevrimlerde de kullanılabilen makineler aracılığıyla da bu bağlantılar yapılabilir. Şekil 2.14'te manuel ve otomatik lokring sıkma pensesi gösterilmiştir.



Şekil 2.14 Manuel (a) ve otomatik lokring bağlantı pensesi (b) (Vulkan,2018)

2.4.4. Yapıştırıcı kullanılarak birleştirme yapılması

Yapıştırma yönteminde lehim yaparken gerekli yüksek sıcaklığa ve ara bağlantı elemanı olarak kullanılan lehim teline gerek yoktur. Yapılan lehim bağlantısı ile iki borunun birbirine sızdırmaz olarak bağlantısı sağlanmaktadır. Fakat boruların alev altında birleştirilmesi sonucu, oluşan sıcaklık farklılığı nedeniyle boru içinde farklı dizilime sahip yapılar oluşmaktadır.

Soğutucu boruların birleştirilmesinde çoğunlukla lehim kullanılır. Fakat nemli ortamlarda çalışma durumu söz konusu olduğunda korozyon büyük bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Soğutucu akışkanın boru içindeki basıncının 40 bar ve daha üzeri basınçlarda çalışmaktadır. Bağlantılarda problem olduğu durumda, borularda oluşacak gözle görülemeyen bir çatlak v.b. bir hata tahmin etmesi çok zor problemlere sebep olabilmektedir. Bu durumun üzerine sistemde bulunan kompresörün meydana getirdiği titreşimin de etkisiyle ilave kusurların ortaya çıkması kaçınılmaz olmaktadır.

Lehim yerine ilave ön gerilmeye neden olmayan bir yapıştırma bağlantısı tasarlandığında yorulmaya karşı daha dirençli, ayrıca yüksek sıcaklıklara çıkılmadığından sıcaklık kaynaklı gerilmelerin oluşmadığı bir boru birleştirmenin yapılması mümkün olmaktadır. Yukarıda bahsedilen konulara çözüm niteliği taşıdığından ve boru

birleştirmelerinin hassasiyetine karşılık verebildiği için birleştirme yöntemi olarak yapıştırma yöntemi ile ilgili çalışmalar yapılmaya başlanmıştır.

Yapıştırma ile boruları birleştirmenin de olumsuz yönleri elbette mevcuttur. Yapıştırıcıların nem etkisi ile yapısının bozulması, camsı yapıya geçiş sıcaklığının altında ya da üstünde kaldığında yapısında değişim gözlenmesi, kürlenme suresinin uzun olması yapıştırma yönteminin olumsuz özelliklerinden bazılarıdır.

Yapıştırıcılar birden fazla malzemenin bir araya gelmesiyle oluşan maddelerdir. Yapıştırıcıların temel bazı, organik polimer ya da polimeri oluşturabilen bileşiklerdir. Bağlantı noktalarının yorulma dayanımının iyileştirmesi ve lehim yöntemine göre daha hafif bağlantılar elde edilebilmesi, farklı kalınlıklardaki parçaların birleştirilebilmesi pek çok uygulama için sağladığı en önemli faydalardan birkaçıdır.

Yapıştırıcı bağlantılı tasarımlar yapılırken, yapısal yapıştırıcıların yüksek yük taşıma yeteneklerine rağmen diğerlerine göre daha gevrek yapıda olmaları, sıcaklıktaki değişimin farklı ısıl genleşme katsayıları olması sebebiyle birleştirmeye ilave ısıl gerilme yükü getirmesi, iyi bir yapıştırma yapılabilmesi için tasarım aşamalarında dikkate alınması gereken hususlardır.

Yapıştırma yöntemini diğer yöntemlere göre üstünlüklerini ve sınırlamalarını izelge 2.2'den sunulmuştur.

Çizelge 2.2. Yapıştırma yönteminin üstünlükleri ve sınırları (Özel, 2008)

| Üstünlükler | Sınırlamalar |
|--|---|
| Geleneksel mekanik bağlantılara göre üniform gerilme dağılımı ve daha yüksek taşıma kabiliyeti sağlar. | Birleştirilecek parçalar itinalı bir yüzey hazırlığı gerektirir. |
| Her şekilde ince ve kalın parçalar birleştirilebilir | Bazı tip yapıştırıcılar için nispeten uzun kürlenme sürelerine ihtiyaç olabilir |
| Benzer veya benzer olmayan tüm metallerin birleştirilmesi mümkündür | Üst kullanım sıcaklık sınırı genellikle 180 °C - 200 °C'dir. |
| Yalıtkan özellikleri nedeniyle elektrokimyasal korozyonu önleyici etkileri mevcuttur. | Birleştirme için ısı ve basınç gerekebilir. |
| Çevrimli yüklere ve dolayısıyla yorulma hasarlarına karşı daha dirençlidir. | Birleştirme için özel tutucu ve aletler gerekebilir |
| Düzgün yüzeyler elde edilmesine olanak tanır. | Sıkı bir proses kontrolüne ihtiyaç vardır. |
| Isı ve elektiriğe karşı yalıtkan olma ve titreşim sönümlenme özellikleri vardır. | Yapıştırıcının mekanik özellikleri zaman içinde çalıştığı ortama göre değişim gösterebilir. |
| Geleneksel mekanik bağlantı yöntemlerinden genelde daha hızlı ve daha ucuz olabilirler | |
| Yapıştırıcı uygulamasında mukavemet artışını etkileyen gerekli ısı genellikle çok düşüktür. | |
| Birleştirme sonrası temizleme işlemleri basittir. | |

İyi bir yapışma için yapıştırıcılardan istenen özellikler aşağıda belirtilmiştir.

- Viskozitenin istenen seviyede olması
- Tüm yüzeye yayılmayı sağlayabilecek, yüzey gerilimine sahip olması
- Yapışma işleminin istenen zamanda meydana gelmesi

- Genleşme ve büzülmenin minimum seviyede olması
- Yapıştırma yapılan yüzey ile kimyasal tepkimenin olmaması.
- Yüzeyden kolaylıkla alınabilmesi, ayrılma operasyonu olurken yüzeye zarar vermemesi
- Atmosferik şartlara çalışmaya dayanıklı olması (Kaya,2004)

2.4.5.1. Yapıştırıcıların Sınıflandırılması

Sektördeki genel olarak yapıştırıcıların sınıflandırılması, kullanıldığı kimyasal malzeme yapısına göre yapılmaktadır. 5 başlık altında incelenmesi mümkündür. Epoksi yapıştırıcılar, akrilik yapıştırıcılar, poliüretan yapıştırıcılar, anaerobik yapıştırıcılar ve silikon yapıştırıcılar olarak sınıflandırılmaktadır. (Temiz,2003)

Epoksiler, uygulamalarda oldukça yüksek mukavemetli yapıştırıcılardır. Genellikle reçine ve katılaştırıcı olarak iki bileşenden oluşurlar. Kürleme işlemi bazılarında oda sıcaklığı şartlarında birkaç dakikada tamamlanabildiği gibi bazı çeşit yapıştırıcılarda 2-3 güne kadar çıkabilmektedir. Bu yapıştırıcılar gevrek yapıya sahip olup nemli ortamlara çalışmaya karşı hassastır. Uzun süre çevresel faktörlerin etkisi altında kalırlarsa özelliklerinde kayba uğramaları olasıdır. Epoksi yapıştırıcılar 260°C civarında özelliklerini yitirmektedir. İlave bir etken (nem vs.) olmadığı sürece 260°C'ye kadar yüksek mukavemet gösterir. Bu yapıştırıcıların metal ve plastik yüzeylere yapışması zayıftır. (Özel,2008)

Akrilikler, özellik olarak epoksi ve poliüretan yapıştırıcıya benzemektedirler. İki farklı bileşenin birleşmesinden meydana gelir. Metal ve plastik malzemelerin yapıştırılmasında çok iyi mukavemet değerleri vermektedir. -110°C ile 120°C arasında elastik özellikleri aynı kalmaktadır. Oda sıcaklığında kürleme süreleri gayet iyidir. Yüzey hazırlığı yapılmamış yüzeylere karşı çok iyi değillerdir. Nemli ortamlara karşı dirençlidirler ve nem etkisiyle mukavemette düşme önemli bir miktarda olmaz. Akrilik yapıştırıcılar yanıcı özelliğe sahiptir. Yüksek sıcaklıklarda kullanıma uygun değildir.

Poliüretan yapıştırıcılar, tek bileşenli ve iki bileşenli olacak şekilde kullanılmaktadır. Epoksi yapıştırıcılar ile karşılaştırıldığında çalışma ömürleri daha kısadır. Ayrıca nemli ortamlara karşı daha duyarlı yapıdadırlar. Çok düşük sıcaklıklarda dahi yüksek mukavemetlidirler. Yapıları epoksi yapıştırıcılara göre daha tok ve elastiktir. (Özel,2008)

Anaerobikler, ortamdan oksijenin uzaklaştırılması ile kürlenirler. Bu yüzden yapıştırıcı uygulamasından hemen sonra, ortamdaki oksijeni uzaklaştırmak için birleştirme bölgesine gelen hava girişi engellenecek şekilde kapatılır. Bu yapıştırıcılar iyi rutubet direncine sahiplerdir ve 150°C'ye kadar metal ve termosetlerin yapıştırılması için uygun özelliktedirler. (Özel,2008)

Son olarak ise silikon yapıştırıcılar tek bileşenli yapıştırıcılardır. Oda sıcaklığında vulkanize olmuş elastomerlerdir. Çekme dayanımları çok düşüktür. Kolaylıkla kopar. Dolgu malzemesi olarak da kullanılır. Bu yapıştırıcılar -60°C ile 370°C arasında çalışabilme yeteneğine sahiplerdir. UV ışık altında, su ve yüksek sıcaklığa karşı dirençlidir ve sıfır derecenin altında da esnek özellik gösterirler. Sektörde metal, cam, plastiklerin yapıştırılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. (Özel,2008)

Anaerobik ve silikon yapıştırıcıların kullanım alanları güçlü yapıştırma açısından iyi sonuçlar vermediğinden tez kapsamında diğer 3 yapıştırıcı grubu ile ilgili deneysel çalışmalar yapılmıştır.

2.4.5.2. Yapıştırma Birleştirmelerinin Dayanımını Belirleyen Etkenler

İki borunun birleştirilmesi aşamasında yapışmanın kalitesine etkileyen pek çok unsur vardır. Yapıştırma prosesi öncesi bu koşulların sağlandığından emin olunmalıdır. Aksi halde test yapıştırmalı bağlantılardan istenilen sonuçların elde edilmesi mümkün olmayacaktır.

Birleştirilecek boru yüzeylerinin mutlaka kirden arındırılmış olması gerekir. İlave gelen malzemeler, yapıştırma kalitesini olumsuz etkileyecektir. Yüzeyde bulunan korozif tabaka, boya ve pas kalıntılarının, yüzey ile yapıştırıcı arasındaki doğrudan teması engellemesi sebebiyle kaldırılması gerekmektedir. (Aydın,2003)

Metallerde çözücüyle silme veya buharla yağ alma uygulanan en basit yüzey temizleme işlemleridir. Yüzey hazırlama yöntemleri üç ana grupta toplanabilir. Bunlar yağ ve kir alma, mekanik aşındırma ve kimyasal işlemler olarak sınıflandırılabilir.

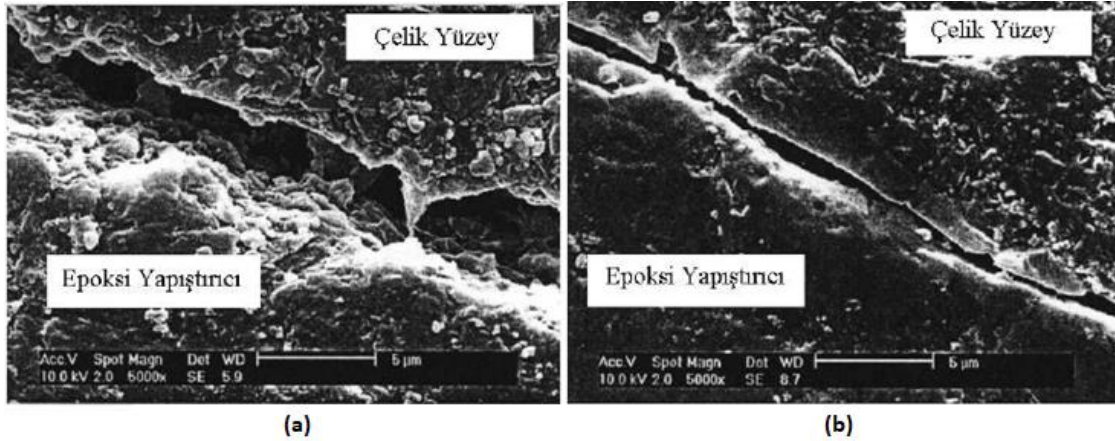
Yağ ve Kir Alma:Yapıştırılacak yüzeyler, üzerine temiz çözücü damlatılmış temiz bir bezle silinerek temizlenirler. Bu şekilde boruların üzerinde bulunan yağ ve kirler silinir. Temizlik çözücü olarak metil etil keton, triklorometilen ve aseton iyi yağ çözücüler oldukları için yaygın olarak kullanılırlar. (Aydın, 2003)

Mekanik Aşındırma: Taşlama, kum püskürtme, fırçalama, zımparalama gibi yöntemler yaygın olarak kullanılan mekanik aşındırma yöntemleridir. Bu yöntem sonucu kullanılan parça malzemesi ve cinsine bağlı olarak parçalar üzerinde tahribat meydana gelebilmektedir. (Loctite, 1997) Genellikle yağ ve kir almanın yeterli olmadığı ve boru yüzeylerinde oksitlenme olduğu durumlarda tercih edilir.

Kimyasal İşlemler: Kimyasal çözelti ile yüzeylerin temizlenmesi en etkili yüzey temizleme yöntemidir. Bu yöntem aracılığıyla yüzeyin daha güçlü olması sağlanır. Kaliteli yapışma için, yüzeyin kimyasal ve fiziksel özellikleri değiştirilir. Her malzeme türüne göre farklı bir kimyasal yüzey temizleme yöntemi olabilir. Yapıştırılacak olan bölge, çözeltinin içine koyulur ve belirli bir süre bekletilir. Çözeltiden çıkarıldıktan sonra saf suya koyulur ve bir süre de burada bekletilir. Ardından çıkarılıp kurulanır. Gerekli birleştirme operasyonu bunun sonrasında yapılabilir. (Özel, 2008) Bu yöntem çok etkili olmasına rağmen maliyeti sebebiyle -mecbur kalınmadıkça- tercih edilmemektedir.

Bir yapıştırıcının fiziksel özelliklerinin, bir takım kimyasal tepkimeler ile (polimerizasyon, vulkanizasyon vb.) ısı, katalizör, basınç etkisi ile ya da etkisi olmadan değişmesine kurlenme adı verilmektedir (ASTM D, 1990). Yapıştırıcının sıvı halden katı hale geçmesi sırasında bünyelerinde çeşitli kimyasal tepkimeler gerçekleşir. Yapıştırıcının cinsine göre kurlenme özellikleri ve süresi farklı olabilir. Kurlenme şekline, özelliğine göre yapıştırma işleminin de kalitesi bu durumdan etkilenmektedir. Kurlenme prosesinin üretimse açıdan en önemli konusu kurlenme süresidir. Yüksek adetli üretim yapan bir işletmede kurlenme süresinin saniyeler mertebesinde olması beklenir. Çok iyi yapıştırma özelliğine sahip olmasına rağmen uzun kurlenme süresine sahip olan bazı yapıştırıcılar bu sebeplerle ticarileşememişlerdir. Bu gibi durumda ilave ajanlar kullanılarak prosesin daha hızlı yapılması sağlanır.

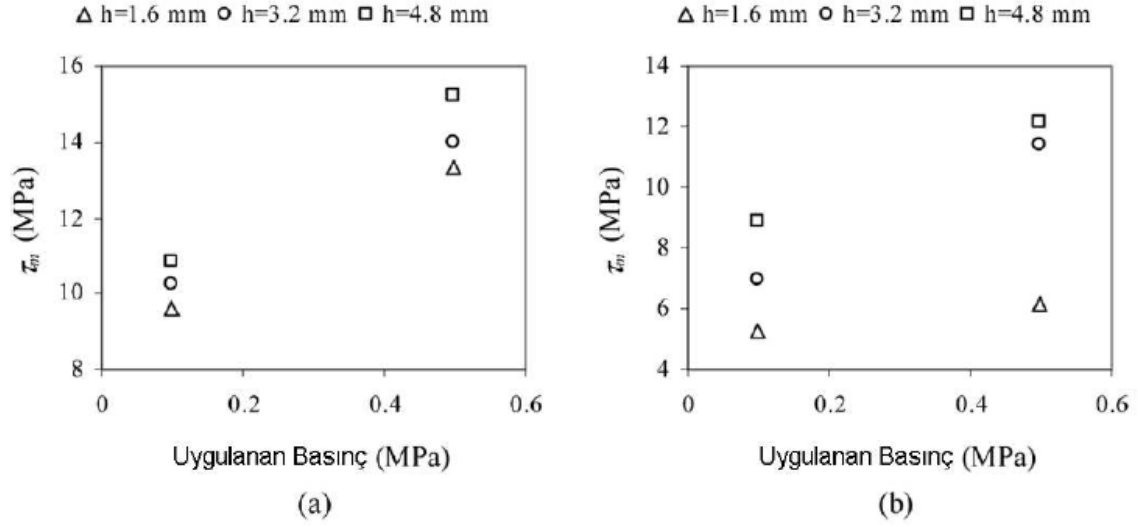
Malzemenin malzemeye değişmekle birlikte, genel olarak sıcaklığın artması ile birlikte yapıştırıcıların viskoziteleri düşeceğinden daha iyi yapışma sağlandığı görülmektedir. Bu nedenle sıcaklık yapışma açısından önemli bir faktördür. Şekil 2.16'da daha önce yapılan bir çalışma neticesinde elde edilen bulguların mikroskop altındaki görüntülerine yer verilmiştir.



Şekil 2.16. (a) 20°C'de kurlendirilmiş (b) 80°C'de kurlendirilmiş numuneler (Özel,2008)

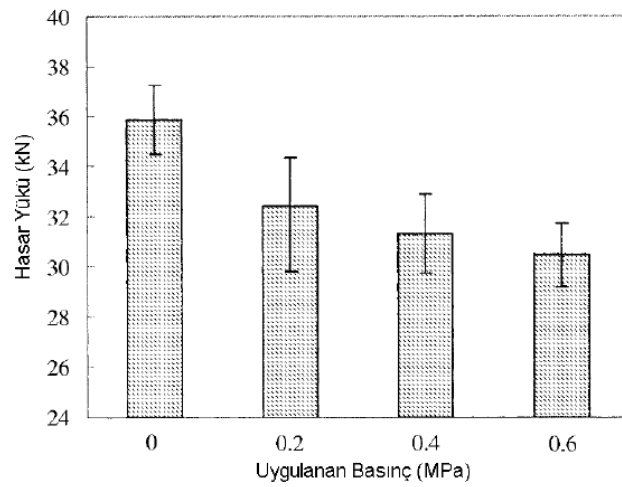
Basınç da sıcaklık gibi kurlenmeye ve mekanik özelliklere doğrudan etki eden bir faktördür. Kurlenmenin gerçekleştiği ortamın basıncının, birleştirmenin mekanik performansına etkisi incelemek üzere çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Daha önce yapılan bir çalışmaya göre şerit levhalar ile yapılan çalışma sonrasında kurlenme ortamındaki basıncın artması ile birleştirme mukavemetinde artma meydana geldiği belirlenmiştir. Şekil 2.17’de bu durum gösterilmiştir. (Aydın,2007)



Şekil 2.17. Birleşirmenin dayanımına etkisi (a) 25 mm (b) 100 mm bindirme mesafesi (Aydın,2007)

Fakat benzer çalışma boru birleştirme için yapıldığında, kurlenmenin tamamlandığı ortam basıncının artmasıyla, birleşirmenin dayanım değerlerinin düştüğü belirlenmiştir. Şekil 2.18’den detayı incelenebilir.



Şekil 2.18. Kurlenme ortamı basıncının birleştirme dayanımına etkisi (Kim,2004)

Suyun bir ortamda olması yapıştırıcıların kullanımını sınırlandıran ve çevresel kararlılığı zorlaştıran önemli bir etkidir. Nemin, yapıştırma birleştirmesine iki şekilde olumsuz etkisi mevcuttur. Bunlar yapıştırıcının kendisinde meydana getirdiği bozulma ve yüzey ile yapıştırıcı arasına girerek meydana getirdiği bozulmadır. Bu nedenden ötürü ortamda bulunan nem yapıştırma kalitesini etkileyen faktörlerdendir.

2.5. Boruların Üzerine Tırtıl Çekme (Knurling) İşlemi

Tırtıl çekme işlemi sektörde birçok amaçla kullanılan ve torna cihazında yuvarlak şekilli parçalar üzerine işlenen bir yöntemdir. Genellikle elle tutulması ve kavranması istenen yerlerde kayganlığı engelleme amaçlı olarak kullanılmaktadır. Borunun çapına, kullanılacağı yere göre farklı çeşitleri ve özellikte olanları mevcuttur. Tırtıl çeşitlerinin ismi, torna esnasında talaş kaldırarak oluşturduğu izlerin şekline göre adlandırılır. (Makine Teknolojisi, 2014) Şekil 2.19’da kullanılan makara çeşitlerinden örnekler verilmiştir. Tırtıl çeşitleri aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır.

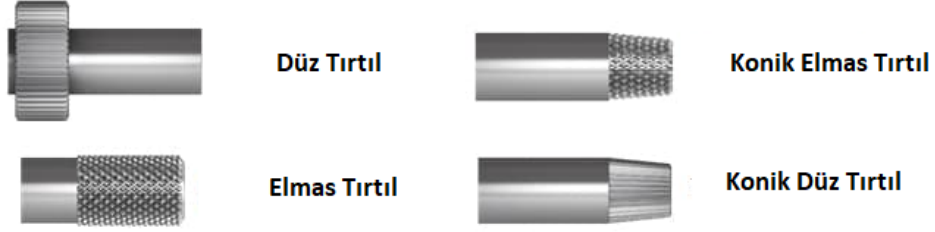
1. Düz Tırtıl
2. Elmas Şekilli Tırtıl
3. Tek Yönlü Tırtıl (Sağ-Sol yönlü olabilir.)



Şekil 2.19. Çeşitli tırtıl (knurling) makaraları (Dorian Tools,2018)

İstenen tırtıl formunu vermek için tırtıl makaraları kullanılmaktadır. Bu makaralar aracılığıyla parça üzerine istenen desende tırtıl işlenmektedir. Şekil 2.20’de parçalar üzerine yapılabilecek örnek tırtıl çekme (knurling) işlemleri görülmektedir. Tırtıl formları parça üzerine erkek ya da dişi form olarak işlenebilmektedir. Knurling işlemi farklı

formlarda torna tezgâhı aracılığıyla parçalara uygulanabilmektedir. Tornada bu işlemin yapılabilmesi için özel takımlara ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 2.20. Parçalar üzerine işlenmiş tırtıl işlemleri (Dorian Tools,2018)

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

İnce cidarlı boruların birleştirilmesine yönelik olarak bugüne kadar pek çok çalışma yapılmıştır. Bu bölümde birleştirme işlemlerine yönelik olarak yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

Çelik (1996) tarafından koruyucu gaz altında bakır ve alüminyum malzemelere yapılan difüzyon birleştirmesi ve uygulamasının etkileri incelenmiştir.

Özel (2008) alüminyum ve bakır boruların yapıştırma yöntemi ile birleştirilmesi konusunda araştırma yapmıştır. Yapılan çalışmada boru birleştirmesinin çalışacağı koşullar ve kullanılan yapıştırıcıların yaşlanmaya bağlı olarak durumları incelenmiştir.

Şekercioğlu'nun (2013a) yazdığı makalede parça birleşimlerine, yüzey pürüzlülüğünün etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmada birleştirilen boru numuneleri üzerinde statik ve dinamik yükler altında bağlantı şekilleri incelenmiş ve yüzey pürüzlülüğünün bağlantının kuvvetine olan etkisi gösterilmiştir.

Şekercioğlu'nun (2013b) çalışmasında da çelik, bakır ve alüminyum boruların birleştirilmesi esnasında tasarıma etkiyen faktörler üzerinde durulmuştur. Buna göre boru çapları arası tolerans, montaj şekli, yapıştırıcı tipi, operasyon sıcaklığı, yükleme şekli ve yüzey pürüzlülüğü boru birleşimlerinin kalitesini etkilemektedir. Bakır alaşımli boruların birleştirilmesinde anaerobik özellikli yapıştırıcılarla iyi sonuçlar alındığı tespit edilmiştir.

Arslan (2013) tarafından yazılan makalede boru birleşimlerinde birleşim yapılan uçlara iç yüzeyi yivli boru kullanımının ısı geçişine etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmaya göre boruların iç yüzeyine yiv yapılması bir noktaya kadar ısı geçişinde pozitif etki sağladığı görülmüştür.

Qi Zhang (2014) yapmış olduğu çalışmada geleneksel yöntemlerden farklı olarak boruların birleştirilmesinde döner şekillendirme (rotary swaging forming) yöntemini

kullanarak boru birleştirmesinin etkisi üzerinde bir çalışma yapmıştır. Bu yöntemle birleştirilen borular test edildiğinde mukavemet açısından gerekli değerlere ulaşılabilirdiğini tespit etmiştir.

M. M. Eshtayeh vd. (2015) yaptığı çalışmada iki parçanın lehim yerine mekanik geçme (clinching) operasyonu ile birleştirildiği durumlar incelenmiş, alternatif clinching yöntemleri üzerinde durulmuş ve bu birleştirme işleminin mukavemet ve yorulma açısından etkileri incelenmiştir.

Açık (2015) tarafından yapılan yüksek lisans tezi kapsamında AISI 1010 ve bakır çubukların sürtünme kaynağı ile birleştirilmesi yönteminden bahsedilmiştir. Sürtünme lehim yöntemi ile birleştirilen numunelerin çekme deneyi ile birlikte mikro yapı incelemeleri yapılmış ve bağlantıların hasar süreci analiz edilmiştir.

Kah (2015) tarafından yapılan çalışmada alüminyum ve bakır borulara uygulanan lazer kaynağı, sürtünme kaynağı ve lehimleme yöntemleri incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Çalışma sonuçlarında, kaynağın performansında kaynatılan malzemenin fiziksel özelliklerinin, lehim hızının, sıcaklığın ve dolgu malzemesinin etkili olduğu görülmüştür.

Leena vd. (2016) yapmış olduğu makale çalışmasında alüminyum alaşımlarının adhezif yapıştırma ile birleştirilmesinden önce yüzeye uygulanan öncül işlemlerin etkisi incelenmiştir. Çalışma kapsamında parça yüzeylerine farklı yöntemler uygulanmış ve buna bağlı olarak yapışkan kontak açısı, yüzey enerjisi ve yüzey topografileri incelenmiştir.

Alves, vd. (2016) yaptığı çalışmada boru bağlantıları dört farklı yöntemle yapılmış ve bunun olası sonuçları incelenmiştir. Bunlar; 1. Kaplin aracılığıyla bağlantı elemanı kullanılması durumu; 2. Form verilerek birbirine mekanik bağlantı yapılmış boru bağlantı sistemi, 3. Boruların birbiri ile birleştirilmesi, 4. İlave bir yapıştırıcı malzeme aracılığıyla boruların bağlanmasıdır. Çalışmanın sonucunda 2 farklı alternatif ile oda sıcaklığında yapılabilecek mekanik bağlantı önerileri yapılmıştır.

Budhe (2016) tarafından yapılan çalışmada yüzey pürüzlülüğünün etkisi çelik ve alüminyum plakaların yapıştırılma yüzeyleri incelenerek etkileri tespit edilmiş ve buna göre optimum yüzey pürüzlülüğü belirlenmiştir.

Balta (2016) tarafından sürtünme kaynağı ve MIAB (manyetik ark kaynağı) ile birleştirilmiş boruların mikro yapısal ve mekanik karakterizasyonu incelenmiştir. Optimizasyon alışmaları neticesinde uygun parametreler belirlenerek en yüksek çekme dayanımı, en yüksek %uzama ve en küçük çatlak oluşturan yapı birleşimleri elde edilmiştir.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez kapsamında farklı yapıştırıcı malzemeleri kullanılarak, alternatif bağlantı şekilleri altında boru birleştirmenin etkileri ve sonuçları ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bağlantıların istenen üretim koşullarında yapılabilmesi için sıcaklık, basınç gibi yapıştırma kalitesini belirleyen tüm etmenler tüm deney setleri için aynı şartlarda tutulmuştur. Bu sayede yapılan yapıştırma mekanizmasının üretim koşullarındaki performansı yakalanmaya çalışılmıştır.

4.1. Deney Numuneleri

Deney test numuneleri olarak 3 farklı boru birleşimi belirlenmiştir. Tüm numunelerde aynı malzemelerin birbirleri ile ilişkisi incelenmiştir. Test sonuçlarını etkileyecek olan ilave malzeme faktörü de devreye gireceğinden farklı malzemelerin birleştirilmesi çalışma kapsamı dışında tutulmuştur. İlgili numuneler şekil 4.1, şekil 4.2 ve şekil 4.3'te gösterilmiştir.

1. Alüminyum – Alüminyum 4,36 mm Çapında boru birleşimi



Şekil 4.1. Alüminyum-alüminyum boru bağlantısı

2. Bakır – Bakır- 4 mm çapında boru birleşimi



Şekil 4.2. Bakır-bakır boru bağlantısı

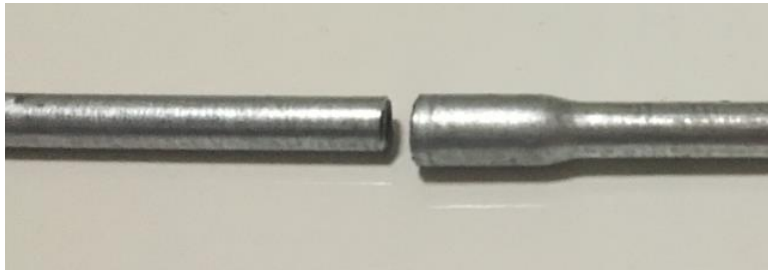
3. Çelik – Çelik 3,76 mm çapında boru birleşimi



Şekil 4.3. Çelik – çelik boru bağlantısı

4.2. Test Numunelerinin Hazırlanması

Karşılıklı iki borunun birleştirilme işleminde, birleşme kısmında boru bağlantısının ağız kısmı genişletilerek, karşılıklı dişi-erkek bağlantısı olması sağlanmıştır. Dişi boru ile erkek boruların arasındaki çap farkı 0,1 mm'dir. Tüm lehimli ve yapıştırırmalı bağlantılarda aynı özellikte borular kullanılmıştır. Şekil 4.4'te örnek birleşim ağızları gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Boru bağlantılarının birleşme detayı

Borular birleştirme işlemi yapılmadan önce, kiri ve kalıntıları temizlemek için metil alkol kullanılarak temizlenmiştir.

Yapılan tüm testler normal oda sıcaklığı nem koşullarında gerçekleştirilmiştir. Belirlenen bu boru ikilileri için referans noktası olarak belirlenmek üzere standart lehim bağlantısı ile birleştirilmiş numuneler de hazırlanmıştır. Yapıştırma ile birleştirilen boruların gerekli yeter koşulu sağlayıp sağlamadığı lehim bağlantılı olan numunelere bakılarak karar verilmiştir.

4.2.1. Lehim Bağlantısı ile Birleştirilen Soğutucu Boruların Hazırlanması

Bakır boru birleşimi ve çelik boru birleşimleri sert lehimleme işlemi ile yapılmıştır. Lehim teli olarak pirinç lehim teli kullanılmıştır. Lehim teli malzemesi, yüksek oranda bakır ve düşük oranda da kalay ve çinko içermektedir.

Alüminyum boru bağlantısında da öncelikle dekapan (lehim pastası) sürülerek temizleme yapılmış ve ardından yumuşak lehimleme yapılmıştır. Dekapan (Lehim pastası) kullanılması ile bileşimlerinde bulunan fosfat, bor, silikat yardımı ile yüzey temizliğinin yanı sıra oksitlenmeye karşı da koruma görevi yapılmaktadır.

4.2.2. Yapıştırma Metodu ile Birleştirilen Test Numunelerinin Hazırlanması

Yapıştırma metodu ile birleştirilecek olan boruların, erkek boru tarafında şişirilmiş yuvaya giren kısımlara 4 farklı tırtıl formu işlenmiştir. Bu işlemin amacı yapıştırma bağlantısının yüzey alanını arttırarak daha iyi bir tutunma sağlanması içindir. Buna göre yapıştırma metodunda kullanılacak alüminyum, bakır ve çelik borulara uygulanan tırtıl formları Şekil 4.5'te verilmiştir. Deney numuneleri hazırlanırken yapılan tırtıl formları B, C, D, E şeklinde harflendirilmiştir. A numunesi ise hiçbir ilave operasyon yapılmamış düz boru numunesidir.



Şekil 4.5. Soğutucu borulara uygulanan tırtıl formları

4.2.3. Yapıştırma Metodu İçin Kullanılacak Yapıştırıcılar

Yapıştırma metodu ile birleştirilmesine karar verilen numuneler; çift komponentli, üç farklı yapıştırıcı ile yapıştırılarak testleri yapılmıştır. Burada kullanılan yapıştırıcıların genel özellikleri aşağıda verilmiştir.

4.2.3.1. Epoksi Adhezif Çift Komponentli Yapıştırıcı (1 No'lu Yapıştırıcı)

- Oda sıcaklığında hızlı kürleme özelliğine sahiptir.
- Sertleşme hızı, hafif miktarda bir ısıya uygulanmasıyla hızlandırılabilir.
- Çift komponent içeren bir yapıştırıcıdır.
- Uygulama kolaylığı için düşük akışlıdır.
- Yüksek sıcaklık direncine sahiptir.
- Metallerin yapıştırılmasında olumlu sonuçlar vermektedir.

4.2.3.2. Üretan Adhezif Tip Çift Komponentli Yapıştırıcı (2 No'lu Yapıştırıcı)

- Farklı yüzeyleri ve malzemeleri yapıştırmak mümkündür.
- Uygulandıktan sonra sarkma yapmaz, böylece yapışkan uygulandığı yerde kalır.

- Düşük sıcaklıklarda özelliğini korur. Ölçüsel kararlılığı iyidir.
- Kurlenme süresi içerisinde yapıştırıcının uygulanması mümkündür.
- Çift komponent içeren bir yapıştırıcıdır.

4.2.3.3. Akrlık Adhezif Çift Komponentli Yapıştırıcı (3 No'lu Yapıştırıcı)

- Korozyona karşı yüksek dayanımı vardır. Özellikle metal parçalara uygulanmasında iyi sonuçlar verir.
- En az bir saat boyunca 204°C 'ye kadar, toz boya ve boya fırını çevrimlerine dayanıklıdır.
- Sert ve dayanıklı bir bağ için yüksek kesme, soyma ve darbe dayanımına sahiptir.
- -40°C'ye kadar düşük sıcaklıklarda bile mükemmel yapışma gücü ve darbe dayanımı sağlar.
- Çift komponent içeren bir yapıştırıcıdır.

Yukarıda bahsedilen yapıştırıcıların borulara uygulanması için çift komponentin birbirlerine belirlenen oranda karıştırılması gerekmektedir. Bunun için özel tasarım sıkma tabancası ve karışımı istenilen oranlarda uygulanmasını sağlayan ayrı nozüller kullanılmaktadır. Tüplerden gönderilen iki komponent ancak nozüllerin ucunda bir araya gelmektedir. Aksi durumda iki komponent bir araya geldiği zaman yapışma olacağından istenen operasyon yapılamayacaktır.

Buna göre testi yapılacak 3 farklı faktörün etkisi altında test numuneleri hazırlanmıştır. Deney parametreleri ve bileşenleri aşağıda özetlenmiştir.

- 3 farklı malzeme (alüminyum, bakır ve çelik)
- 3 farklı yapıştırıcı (1, 2 ve 3 no'lu yapıştırıcılar)
- 5 farklı boru uç formu (1 adet düz ve 4 adet tırtıllı uç formu, (A, B, C, D, E))

Bu konfigürasyonların birleşimi sonucunda birbirinden farklı çok sayıda test numunesi hazırlanma imkânı oluşmuştur. Test numunelerini karıştırmamak ve takip etmek

için çizelge 4.1'deki kodlama sistematığı belirlenmiştir. Örnek olarak deney numunesi tanımı "C23" olarak belirtildiğinde "C" tipi tırtıla sahip "bakır" boru setinin "3 numaralı" yapıştırıcı ile yapıştırıldığı anlamına gelmektedir.

Çizelge 4.1. Deney numunesi kodlama sistematığı

| 1 | 2 | 3 |
|----------------|--------------|------------------|
| Boru Ucu Formu | Malzeme Türü | Yapıştırıcı Türü |
| A (Düz) | 1: Alüminyum | 1 |
| B | 2: Bakır | 2 |
| C | 3: Çelik | 3 |
| D | | |
| E | | |

4.2.4. Yapıştırma Bağlantılı Test Numunelerinin Deneylerinin Yapılma Adımları

Testin yapılması için aşağıdaki adımlar uygulanmış ve buna göre tüm numuneler hazırlanmıştır.

1. Borular öncelikle temizlik operasyonuna tabi tutulmuştur.
2. Ardından iki borudan düz olanının üzerinde uygulanacak yapıştırıcı seçilerek borunun tüm çevresinde yapıştırıcı olacak şekilde uygulanır.
3. Yapışkanın gelmesi gereken minimum boy uzunluğu 10 mm olacak şekilde istenen miktarda yapıştırıcı uygulandığından emin olunur.
4. İki boru birleştirilerek 30 saniye boyunca birbirine doğru bastırılır.
5. Birleşimin gerekli kürlenme süresine ulaşması için en az 5 dakika beklenir.

Yukarıda belirtildiği şekilde tüm numuneler aynı şekilde yapıştırılarak gerekli testlerin yapılması için hazır hale getirilmiştir.

4.3. Test Numunelerine Yapılan Testler

Soğutucu boruların birleştirme işleminden sonra çalıştığı yerdeki şartları sağlayıp sağlamadığına bakmak amacıyla lehimli borulara standart olarak uygulanan testler yapıştırıcı borulara da yapılmıştır. Yapılacak testlerin detayları aşağıda belirtilmiştir.

4.3.1. Basınç Testi

Numunelere yapılan basınç testleri aşağıdaki fotoğrafta görebileceğiniz test cihazı ile yapılmıştır. Lehimli borulara seri üretim şartlarında kalite testleri yapılırken 110 bar basınç uygulanmaktadır. Eğer boru bağlantısında bu basınçlarda bir sıkıntı meydana gelmiyorsa test edilen komponentin bu basınç altında herhangi bir gaz kaçağına sebep olmaması beklenir. Şekil 4.6'da basınç ölçüm test cihazı görülmektedir.

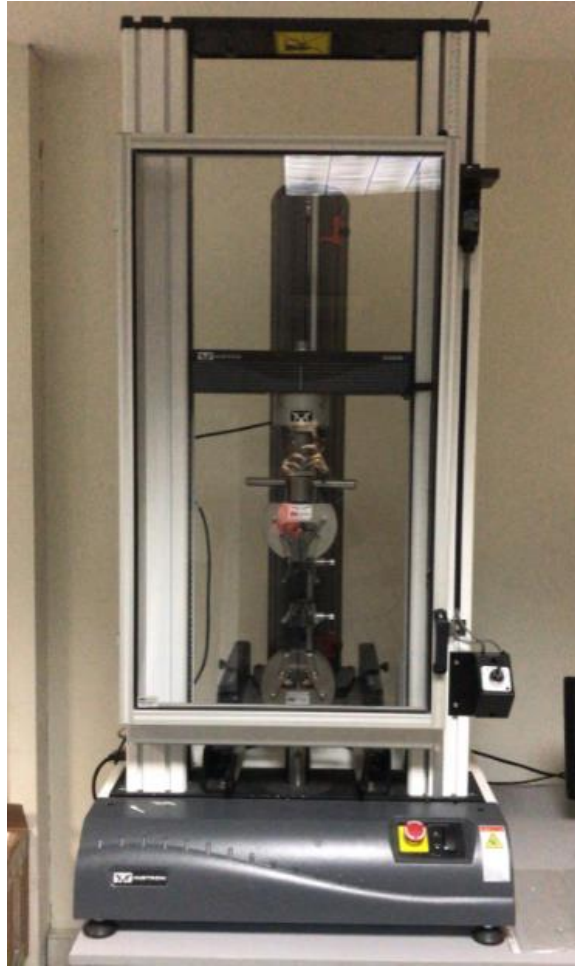


Şekil 4.6. Basınç ölçüm test cihazı

Bu kriterler altında hazırlanan tüm numunelerde testler tekrarlanmıştır. Ürünlerin 110 bar basınç altında gerekli sızdırmazlık şartını sağlayıp sağlamadıkları her numune için kontrol edilmiştir. Basınç test sonuçları bölüm 5’te sunulmuştur.

4.3.2. Çekme Testi

Soğutucu borulara uygulanan diğer bir test ise çekme testidir. Bu test standart çekme testine benzemektedir. Boru numuneleri 5 kN’luk yük ve 5 mm/dak çekme hızı ile çekilmiştir. Çekme test cihazı şekil 4.7’de görülmektedir.



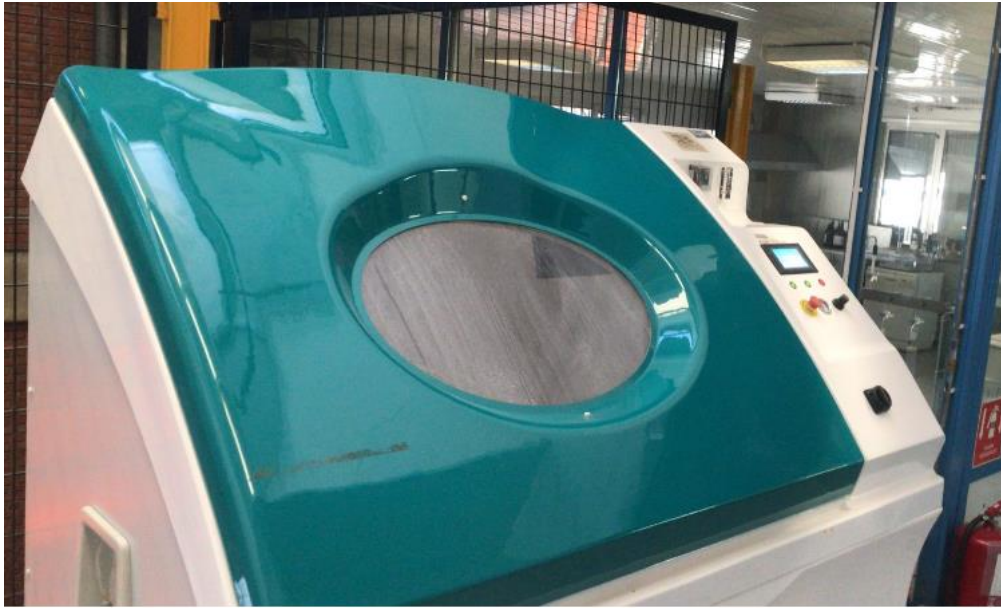
Şekil 4.7. Çekme test cihazı

Yapılan çekme testi sonucunda borularda meydana gelen kopmaların lehim noktalarından olmaması beklenmektedir. Eğer boru lehim noktasından başka bir yerden

koptuysa o bağlantı başarılı olarak kabul edilmiştir. Bu kriterlere göre gerçekleşen testlerin sonuçları bölüm 5’te verilmiştir.

4.3.3. Korozyon Testi

Soğutucu boruların ekonomik ömürleri boyunca görev görebilmesi için korozyon problemi ile karşı karşıya kalmaması gerekmektedir. Bunun için tüm test numunelerine 30 gün (720 saat) boyunca “tuzlu su sisi” testi uygulanmıştır. Test sonuçlarına göre bağlantı bölgesinde ve borunun kendisinde meydana gelen korozyon durumu incelenmiştir. Aksi halde bu noktalardan gaz kaçağı problemleri meydana gelebilmektedir. Bağlantı bölgesinde lehimli bağlantıda mı yoksa yapıştırıcı bağlantıda mı korozyonun önce olduğu tespit edilmeye çalışılmıştır. Korozyon testlerinde kullanılan cihaz şekil 4.8’de gösterilmektedir. Gerçekleşen testlerin sonuçları bölüm 5’te verilmiştir.



Şekil 4.8. Tuzlu su sisi korozyon test cihazı

Basınç testinde başarılı olan tüm boru setlerine korozyon ve çekme deneyleri de yapılarak yapıştırıcı bağlantının durumu tespit edilmeye çalışılmıştır. Yapılan testler içinde en öncelikli deney basınç testidir. Kapalı çevrimde çalışan bir buzdolabında soğutma sistem elemanlarının yüksek basınçlara dayanabilmesi sistem tasarımlarının olmazsa olmaz

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çeşitli tırtıl desenleri uygulanmış lehim ve yapıştırıcı kullanılarak birleştirilmiş soğutucu boru bağlantılarının deneysel çalışmaları ve test sonuçları bu bölümde verilmiştir. Yapılacak ilk ve en önemli olan test için 48 (45 adet yapıştırıcılı ve 3 adet lehimli referans olacak boru bağlantısı numunesi) farklı test numunesi hazırlanmıştır. Bu testten geçen numunelere göre diğer test numuneleri belirlenerek gerekli testler yapılmıştır.

5.1 Basınç Testleri

Basınçlandırma testi yapıldığında boru birleşimlerinde 110 Bar basınç altındaki durumların incelenmiştir. Referans olması adına lehimli boru numuneleri de teste dahil edilmiştir. Çizelge 5.1'den sonuçları görülebilir.

Çizelge 5.1 Boru birleştirmelerine yapılan basınç testlerinin sonuçları

| Basınçlandırma Test Sonuçları | | | | | | | | |
|-------------------------------|--------------------------------------|-----------|-------------|--|---------|-------------------------------|---------------|---------------|
| Test No | Tırtıl Deseni | Boru | Yapıştırıcı | Boru çeşidi | Boru No | Uygulanan basınç değeri (bar) | Sonuç | |
| 1 | A | Çelik (3) | 1 | Ø 4,76 x 0,7 mm çinko kaplı + çinko kaplı çelik boru | A 31 | 110 | Testten Geçti | |
| 2 | B | Çelik (3) | 1 | | B 31 | 110 | Testten Geçti | |
| 3 | C | Çelik (3) | 1 | | C 31 | 110 | Testten Geçti | |
| 4 | D | Çelik (3) | 1 | | D 31 | 110 | Testten Geçti | |
| 5 | E | Çelik (3) | 1 | | E 31 | 110 | Testten Geçti | |
| 6 | A | Çelik (3) | 2 | Ø 4,76 x 0,7 mm çinko kaplı + çinko kaplı çelik boru | A 32 | 50 | Kaçak var | |
| 7 | B | Çelik (3) | 2 | | B 32 | 0 | Kaçak var | |
| 8 | C | Çelik (3) | 2 | | C 32 | 0 | Kaçak var | |
| 9 | D | Çelik (3) | 2 | | D 32 | 100 | Testten Geçti | |
| 10 | E | Çelik (3) | 2 | | E 32 | 10 | Kaçak var | |
| 11 | A | Çelik (3) | 3 | Ø 4,76 x 0,7 mm çinko kaplı + çinko kaplı çelik boru | A 33 | 0 | Kaçak var | |
| 12 | B | Çelik (3) | 3 | | B 33 | 0 | Kaçak var | |
| 13 | C | Çelik (3) | 3 | | C 33 | 0 | Kaçak var | |
| 14 | D | Çelik (3) | 3 | | D 33 | 0 | Kaçak var | |
| 15 | E | Çelik (3) | 3 | | E 33 | 50 | Kaçak var | |
| 16 | Referans Lehimli Çelik Boru Numunesi | | | | | | 110 | Testten Geçti |

Çizelge 5.1 Boru birleştirmelerine yapılan basınç testlerinin sonuçları(devam)

| Basınçlandırma Test Sonuçları | | | | | | | |
|-------------------------------|--|---------------|---|--|------|-----|---------------|
| 17 | A | Bakır (2) | 1 | Ø 6,35 x 0,6 mm Bakır+Bakır boru | A 22 | 110 | Testten Geçti |
| 18 | B | Bakır (2) | 1 | | B 22 | 110 | Testten Geçti |
| 19 | C | Bakır (2) | 1 | | C 22 | 110 | Testten Geçti |
| 20 | D | Bakır (2) | 1 | | D 22 | 110 | Testten Geçti |
| 21 | E | Bakır (2) | 1 | | E 22 | 110 | Testten Geçti |
| 22 | A | Bakır (2) | 2 | Ø 6,35 x 0,6 mm Bakır+Bakır boru | A 22 | 100 | Testten Geçti |
| 23 | B | Bakır (2) | 2 | | B 22 | 0 | Kaçak var |
| 24 | C | Bakır (2) | 2 | | C 22 | 0 | Kaçak var |
| 25 | D | Bakır (2) | 2 | | D 22 | 0 | Kaçak var |
| 26 | E | Bakır (2) | 2 | | E 22 | 0 | Kaçak var |
| 27 | A | Bakır (2) | 3 | Ø 6,35 x 0,6 mm Bakır+Bakır boru | A 23 | 0 | Kaçak var |
| 28 | B | Bakır (2) | 3 | | B 23 | 0 | Kaçak var |
| 29 | C | Bakır (2) | 3 | | C 23 | 0 | Kaçak var |
| 30 | D | Bakır (2) | 3 | | D 23 | 0 | Kaçak var |
| 31 | E | Bakır (2) | 3 | | E 23 | 50 | Kaçak var |
| 32 | Referans Lehimli Bakır Boru Numunesi | | | | | 110 | Testten Geçti |
| 33 | A | Alüminyum (3) | 1 | Ø 7 x 0,7 mm Al + Al boru | A 11 | 100 | Testten Geçti |
| 34 | B | Alüminyum (3) | 1 | | B 11 | 100 | Testten Geçti |
| 35 | C | Alüminyum (3) | 1 | | C 11 | 100 | Testten Geçti |
| 36 | D | Alüminyum (3) | 1 | | D 11 | 100 | Testten Geçti |
| 37 | E | Alüminyum (3) | 1 | | E 11 | 100 | Testten Geçti |
| 38 | A | Alüminyum (3) | 2 | Ø 7 x 0,7 mm Al + Al boru | A 12 | 0 | Kaçak var |
| 39 | B | Alüminyum (3) | 2 | | B 12 | 0 | Kaçak var |
| 40 | C | Alüminyum (3) | 2 | | C 12 | 0 | Kaçak var |
| 41 | D | Alüminyum (3) | 2 | | D 12 | 0 | Kaçak var |
| 42 | E | Alüminyum (3) | 2 | | E 12 | 0 | Kaçak var |
| 43 | A | Alüminyum (3) | 3 | Ø 7 x 0,7 mm Al + Al boru | A 13 | 0 | Kaçak var |
| 44 | B | Alüminyum (3) | 3 | | B 13 | 0 | Kaçak var |
| 45 | C | Alüminyum (3) | 3 | | C 13 | 0 | Kaçak var |
| 46 | D | Alüminyum (3) | 3 | | D 13 | 0 | Kaçak var |
| 47 | E | Alüminyum (3) | 3 | | E 13 | 0 | Kaçak var |
| 48 | Referans Lehimli Alüminyum Boru Numunesi | | | | | 110 | Testten Geçti |

5.2 Çekme-Uzama Testleri

Basınçlandırma testi sonrasında çekme-uzama testleri gerçekleştirilmiştir. Test esnasındaki sonuçlar kaydedilerek sonuçlar aşağıdaki tablolarda özetlenmiştir. Referans olarak lehimli boru numuneleri de teste dahil edilmiştir.

Basınç testi yapıldıktan sonra belirlenen 48 adet numunelerin bazılarının basınç testini geçememesi sebebiyle bundan sonraki testlerde tüm numunelere birden test uygulanmamıştır. Test numuneleri örneklemeli olarak seçilerek testlere devam edilmiştir.

5.2.1 Çelik Boru Çekme Testleri Sonucu

Çelik-çelik boru birleştirmelerine yapılan çekme – uzama test sonuçları çizelge 5.2'den görülebilmektedir.

Çizelge 5.2 Çelik Boruların çekme testi sonuçları

| Numune No | Yapıştırıcı | Boru No | Dış Çap (mm) | Et Kalınlığı (mm) | Rp0,2 (MPa) | Rm (MPa) | Fm (N) | Ag (%) | A (%) | Açıklama |
|-----------|---------------------|---------|--------------|-------------------|-------------|----------|--------|--------|-------|---|
| 1 | 1 | A31 | 4,76 | 0,7 | 153,5 | 218,4 | 1950,2 | 0,7 | 19,1 | Yapıştırma malzemesiyle havşa içerisine girerek gruplanan tüm boruların havşa içerisinden kolayca çıktığı gözlenmiştir. |
| 2 | | B31 | 4,76 | 0,7 | ----- | 68,5 | 611,8 | 0,2 | 0,7 | |
| 3 | | C31 | 4,76 | 0,7 | 91,1 | 162,1 | 1447,2 | 0,1 | 1,7 | |
| 4 | | D31 | 4,76 | 0,7 | 324,0 | 325,0 | 2901,4 | 0,3 | 0,3 | |
| 5 | | E31 | 4,76 | 0,7 | 134,8 | 172,2 | 1537,1 | 0,6 | 21,5 | |
| 6 | 2 | A32 | 4,76 | 0,7 | 110,7 | 159,5 | 1423,8 | 1,9 | 7,2 | |
| 7 | | D32 | 4,76 | 0,7 | ----- | 19,8 | 176,5 | 0,8 | 11,3 | |
| 8 | | E32 | 4,76 | 0,7 | 115,1 | 166,6 | 1487,1 | 0,1 | 2,3 | |
| 9 | 3 | B33 | 4,76 | 0,7 | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | |
| 10 | | C33 | 4,76 | 0,7 | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | |
| 11 | | D33 | 4,76 | 0,7 | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | |
| 12 | | E33 | 4,76 | 0,7 | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | |
| 13 | Lehimle birleştirme | | 4,76 | 0,7 | 282,8 | 320,4 | 2860,5 | 4,0 | 7,6 | Lehim noktasına yakın boru yüzeyinden kopma meydana gelmiştir. |
| 14 | | | 4,76 | 0,7 | 301,6 | 332,8 | 2971,2 | 4,9 | 8,9 | |
| 15 | | | 4,76 | 0,7 | 276,9 | 326,9 | 2918,5 | 3,9 | 7,6 | |
| 16 | | | 4,76 | 0,7 | 295,0 | 327,2 | 2921,3 | 5,0 | 8,9 | |
| 17 | | | 4,76 | 0,7 | 287,1 | 326,1 | 2911,5 | 4,4 | 8,5 | |

Çekme test numunelerinin test sonrası durumları şekil 5.1 ve 5.2’de verilmiştir.

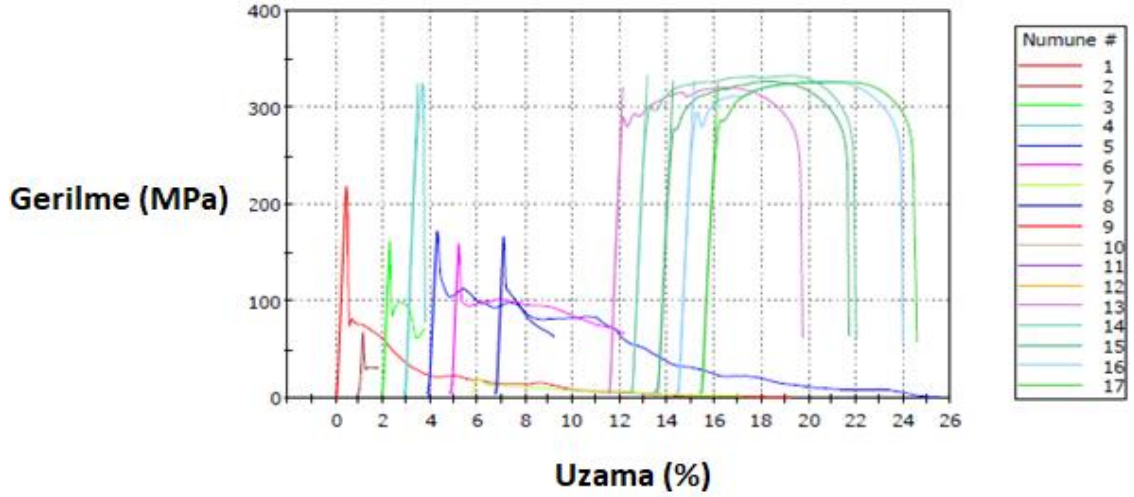


Şekil 5.1 Yapıştırma bağlantılı çelik boruların test sonrası görüntüsü



Şekil 5.2 Lehim bağlantılı çelik boruların test sonrası görüntüsü

Çekme-uzama test cihazının oluşturduğu şekil değiştirmenin başladığı, akma ve kopma mukavemetlerinin gösterildiği çekme-uzama grafiği de şekil 5.3'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Çekme test cihazı çekme grafiği sonuçları

5.2.2 Bakır Boru Çekme Testleri Sonucu

Bakır-bakır boru birleştirmelerine yapılan çekme – uzama test sonuçları çizelge 5.3'ten görülebilmektedir.

Çizelge 5.3 Bakır Boruların çekme testi sonuçları

| Numune No | Yapıştırıcı | Boru No | Dış Çap (mm) | Et Kalınlığı (mm) | Rp0,2 (MPa) | Rm (MPa) | Fm (N) | Ag (%) | A (%) | Açıklama |
|-----------|---------------------|---------|--------------|-------------------|-------------|----------|--------|--------|-------|--|
| 1 | 1 | A21 | 6,35 | 0,6 | ----- | 65,9 | 714,5 | 0,2 | 2,7 | Yapıştırma malzemesiyle havşa içerisine girerek gruplanan tüm borular havşa içerisinden kolayca çıktığı gözlenmiştir |
| 2 | | B21 | 6,35 | 0,6 | 127,0 | 185,1 | 2005,8 | 6,6 | 7,6 | |
| 3 | 2 | A22 | 6,35 | 0,6 | 105,6 | 105,6 | 1144,7 | 2,5 | 9,6 | |
| 4 | 3 | A23 | 6,35 | 0,6 | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | |
| 5 | | B23 | 6,35 | 0,6 | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | |
| 6 | Lehimle birleştirme | | 6,35 | 0,6 | 85,5 | 238,1 | 2580,6 | 28,2 | 30,5 | Lehim noktasına yakın boru yüzeyinden kopmuştur. |
| 7 | | | 6,35 | 0,6 | 90,9 | 237,1 | 2569,9 | 30,9 | 35,3 | |
| 8 | | | 6,35 | 0,6 | 104,9 | 244,4 | 2649,1 | 36,3 | 41,3 | |
| 9 | | | 6,35 | 0,6 | 72,1 | 233,2 | 2527,3 | 30,0 | 34,7 | |
| 10 | | | 6,35 | 0,6 | 73,9 | 231,9 | 2513,0 | 23,6 | 28,3 | |

Çekme test numunelerinin test sonrası durumları şekil 5.4 ve 5.5'te verilmiştir.

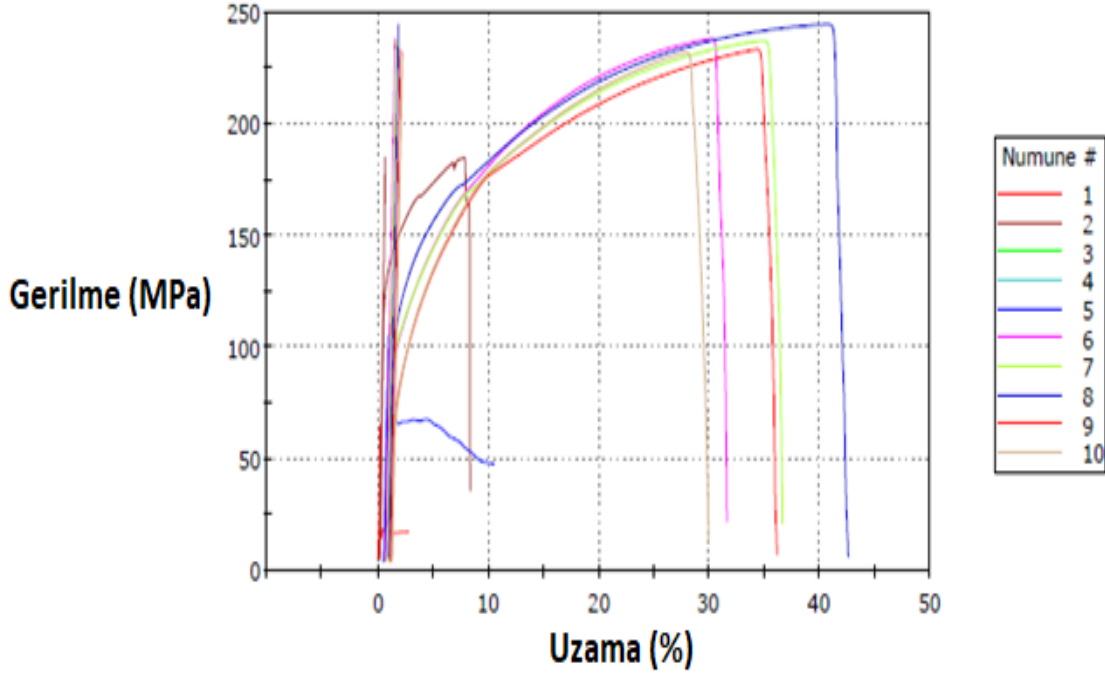


Şekil 5.4 Yapıştırma bağlantılı bakır boruların test sonrası görüntüsü



Şekil 5.5 Lehim bağlantılı bakır boruların test sonrası görüntüsü

Çekme-uzama test cihazının oluşturduğu şekil değiştirmenin başladığı, akma ve kopma mukavemetlerinin gösterildiği çekme-uzama grafiği de şekil 5.6'da gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Çekme test cihazı çekme grafiği sonuçları

5.2.3 Alüminyum Boru Çekme Testleri Sonucu

Alüminyum-alüminyum boru birleştirmelerine yapılan çekme – uzama test sonuçları çizelge 5.4'ten görülebilmektedir.

Çizelge 5.4 Alüminyum Boruların çekme testi sonuçları

| Numune No | Yapıştırıcı | Boru No | Dış Çap (mm) | Et Kalınlığı (mm) | Rp0,2 (MPa) | Rm (MPa) | Fm (N) | Ag (%) | A (%) | Açıklama |
|-----------|----------------------------|---------|--------------|-------------------|-------------|----------|--------|--------|-------|--|
| 1 | 1 | A11 | 7 | 0,7 | 56,5 | 75,9 | 1051,8 | 14,6 | 15,7 | Havşa içerisinden boru çıktı |
| 2 | | B11 | 7 | 0,7 | 59,1 | 66,8 | 925,1 | 0,9 | 7,9 | |
| 3 | | C11 | 7 | 0,7 | 56,9 | 78,8 | 1092,1 | 18,0 | 24,1 | Havşa başlangıcına yakın boru yüzeyinden koptu |
| 4 | | D11 | 7 | 0,7 | 55,3 | 72,8 | 1025,4 | 13,6 | 12,7 | Havşa içerisinden boru çıktı |
| 5 | | E11 | 7 | 0,7 | 56,4 | 78,1 | 1081,5 | 20,5 | 26,0 | Havşa başlangıcına yakın boru yüzeyinden koptu |
| 6 | 2 | A12 | 7 | 0,7 | 54,3 | 72,5 | 1021,3 | 13,8 | 14,8 | Havşa içerisinden boru çıktı |
| 7 | | B12 | 7 | 0,7 | 58,9 | 68,3 | 1030,4 | 16,5 | 16,2 | |
| 8 | 3 | A13 | 7 | 0,7 | 57,2 | 75,3 | 1064,2 | 15,8 | 22,3 | |
| 9 | | B13 | 7 | 0,7 | 55,4 | 77,3 | 1085,3 | 19,2 | 19,3 | |
| 10 | Mevcut Lehimle birleştirme | | 7 | 0,7 | 47,4 | 77,7 | 1075,8 | 16,4 | 21,8 | |
| 11 | | | 7 | 0,7 | 48,2 | 78,0 | 1080,9 | 19,2 | 24,3 | |
| | | | 7 | 0,7 | 66,2 | 77,9 | 1079,3 | 15,4 | 22,4 | |
| 12 | | | 7 | 0,7 | 43,8 | 77,7 | 1077,0 | 22,0 | 26,8 | |
| 13 | | | 7 | 0,7 | 44,8 | 78,3 | 1084,3 | 23,8 | 40,1 | |

Çekme test numunelerinin test sonrası durumları şekil 5.7 ve 5.8’de verilmiştir.

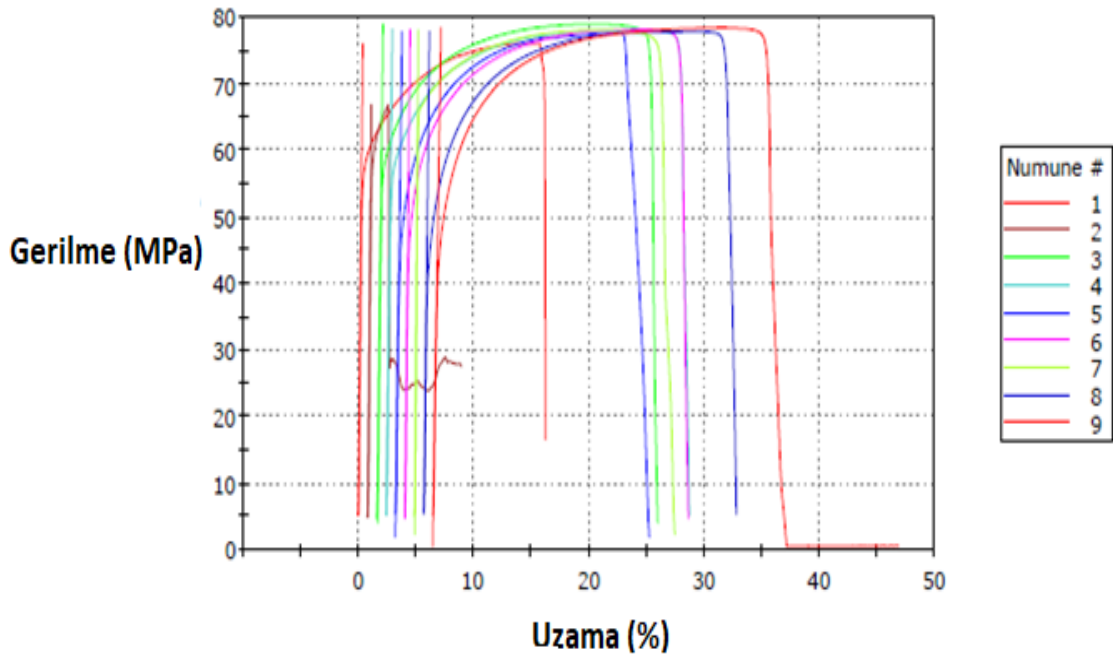


Şekil 5.7 Yapıştırma bağlantılı alüminyum boruların test sonrası görüntüsü



Şekil 5.8 Lehim bağlantılı alüminyum boruların test sonrası görüntüsü

Çekme-uzama test cihazının oluşturduğu şekil değiştirmenin başladığı, akma ve kopma mukavemetlerinin gösterildiği çekme-uzama grafiği de şekil 5.9'da gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Çekme test cihazı çekme grafiği sonuçları

5.3 Korozyon Testleri

Basınç ve çekme testlerinin ardından soğutucu borulara korozyon testleri de uygulanmıştır. Deney, 35 ± 2 °C ve %5 su çözeltisi kullanılarak ve boru yüzeylerine sürekli püskürtme yapılarak gerçekleştirilmiştir. Diğer testlerden geçen “1” numaralı yapıştırıcı ve lehimle birleştirilmiş boru numuneleri teste alınmıştır. Her boru tipi için 3'er adet numune ile testler gerçekleştirilmiştir. Tuzlu su sisi testi sonuçlarına bakılırken 24. Saat, 72. Saat ve 720. Saat sonuçlarına bakılarak değerlendirme yapılmaktadır. İlgili parçanın kullanılacağı yere bağlı olarak test şartlarının sonuçları değerlendirilmektedir. Yapıştırıcı bağlantılara uygulanan tırtıl çekme işlemi çeşidinin korozyon sonuçlarına belirgin bir etkisi olmamıştır. Bu yüzden deney setlerinde basınçlı testlerde en iyi sonucu veren tırtıl deseni kullanılarak korozyon testleri gerçekleştirilmiştir.

5.3.1. Çelik Boru Korozyon Testleri Sonucu

Çelik-çelik yapıştırırmalı ve lehimli borulara yapılan testin sonuçlarına göre;

- 24 saat sonunda malzeme yüzeyinde ~%45 kararına, matlaşma ve beyaz pas oluşumu gözlenmiş, kırmızı pas oluşumu gözlenmemiştir.
- 72 saat sonunda malzeme yüzeyinde ~%90 kararına, matlaşma ve beyaz pas oluşumu gözlenmiş, kırmızı pas oluşumu gözlenmemiştir.
- 720 saat sonunda malzeme yüzeyinde ~%15 beyaz ~%85 kırmızı pas oluşumu gözlenmiştir. Şekil 5.10'da test sonrası boruların durumu gösterilmiştir.
- Yapıştırırmalı bağlantının olduğu bölgede korozyon başlangıcı lehimli bağlantıya göre daha geç başlamıştır.



Şekil 5.10. Çelik boruların korozyon testi sonuçları

5.3.2. Bakır Boru Korozyon Testleri Sonucu

Bakır-bakır yapıştırırmalı ve lehimli borulara yapılan testin sonuçlarına göre;

- 24 saat sonunda malzeme yüzeyinde ~ %2 kararma, matlaşma ve yeşil pas oluşumu gözlenmiş, kırmızı pas oluşumu gözlenmemiştir.
- 72 saat sonunda malzeme yüzeyinde %5 kararma, matlaşma ve yeşil pas oluşumu gözlenmiştir.
- 720 saat sonunda malzeme yüzeyinde %100 kararma, matlaşma ve ~%25 yeşil pas oluşumu gözlenmiştir. Yoğun olarak lehimli birleştirmede lehim noktasında görülmüştür. Şekil 5.11’de test sonrası boruların durumu gösterilmiştir.
- Yapıştırırmalı bağlantının olduğu bölgede korozyon başlangıcı lehimli bağlantıya göre daha geç başlamıştır.



Şekil 5.11. Bakır boruların korozyon testi sonuçları

5.3.3. Alüminyum Boru Korozyon Testleri Sonucu

Alüminyum-alüminyum yapıştırırmalı ve lehimli borulara yapılan testin sonuçlarına göre;

- 24 saat sonunda malzeme yüzeyinde ~ %2 kararma, matlaşma gözlenmiş, kırmızı pas oluşumu gözlenmemiştir.
- 72 saat sonunda malzeme yüzeyinde %5 kararma, matlaşma gözlenmiştir.
- 720 saat sonunda malzeme yüzeyinde ~%55 kararma, matlaşma gözlenmiştir. Kırmızı pas görülmemiştir. Şekil 5.12’de test sonrası boruların durumu gösterilmiştir.
- Yapıştırırmalı bağlantının olduğu bölgede korozyon başlangıcı lehimli bağlantıya göre daha geç başlamıştır.



Şekil 5.12. Alüminyum boruların korozyon testi sonuçları

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması; Alüminyum, bakır ve çelik boruların lehim bağlantısı yerine yapıştırma yöntemi ile birleştirilmesi durumunda kullanılan tırtıl formlarının yapıştırma bağlantısına etkisinin anlaşılması amacıyla deneysel olarak yapılmıştır. 48 farklı konfigürasyon ile numuneler denenmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Test numuneleri içinde tüm test sonuçları ele alındığında en iyi sonuç C11 ve E11 numunelerinde tespit edilmiştir. Buna göre kullanılan yapıştırıcı birinci tip (epoksi yapıştırıcı), C ve E tipi tırtıl formu ve alüminyum boru malzemesi kullanımında en iyi sonuçlar alınmıştır. C ve E tipi tırtıl desenleri geometri olarak birbirine çok benzerdir. Bu nedenle iki desen tipinde de benzer sonuçlar alınması beklenen bir durumdur. Yapıştırıcının temas edeceği yüzey alanının en fazla olduğu tırtıl desenleri de aynı şekilde C ve E tipi tırtıl desenleridir. Buradan hareketle yapışma esnasındaki yüzey alanı ne kadar arttırılırsa o oranda daha bir yapışma sağlanacağı söylenebilir.



Şekil 6.1. Test sonuçlarına göre en iyi test sonucu alınan tırtıl desenleri

- Tüm tırtıl formlarında yüzey alan arttırıldığı için yapışma birleşmesinin mevcut boruya göre çok daha iyi olduğu görülmüştür. Bağlantı prosesinin bu şekilde yapılması daha iyi sonuçlar alınmasını sağlamıştır.

- Yapıştırma bağlantılı 45 farklı deney numunesi arasından 1 numaralı yapıştırıcı kullanılarak yapılan testlerin tüm boru tiplerinde sonuçları uygun bulunmuştur. Lehim bağlantısı yerine yapıştırıcı bağlantıların ikame edilmesi teknik özellikler açısından mümkündür. Elde edilen test sonuçlarına bakıldığından birinci yapıştırıcı ile tüm boruların yapıştırılabildiği ve gerek yeter şartının sağlandığı görülmektedir.
- En iyi sonucu veren test numunesine yapıştırma işlemi yapıldıktan bir ay sonra yapılan testlerde de aynı sonuçlar görülmüş ve yaşlanma etkisinin seçilen “1” numaralı yapıştırıcı için problem olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.
- Çekme testi sonuçlarına göre uygun yapıştırma yöntemi ile birleştirilen alüminyum ve bakır bağlantılı boruların lehim noktalarından önce boruların kendisinden kopma meydana gelmiştir. Çelik borularda ise kopma borudan önce bağlantı noktasından olmuştur. Referans olarak kullanılan lehim bağlantılı borularda ise tüm kopma boru bölgesinden olmuştur. Bu yüzden çelik borularda yapıştırıcı ile ilerleyebilmek için soğutucu sistem üzerinde gaz kaçağının olup olmadığına emin olunarak yapıştırıcı yöntemi tercih edilebilir. Çelik boruların akma mukavemeti bakır ve alüminyum borulardan yüksek olduğu için kopmalar öncelikle bağlantı noktalarından meydana gelmiştir. Buradan hareketle olumlu sonuç alınan yapıştırma bağlantısının test için yeterli şartları sağladığını fakat lehim bağlantısına göre daha düşük bir kuvvetle yapışma olduğu söylenebilir.
- Korozyon testi sonuçlarına bakıldığında yapıştırıcı bağlantılı numunelerinin test sonuçlarının lehimli bağlantıya göre daha iyi olmasından ötürü; eğer yapıştırıcı tercih edilirse daha uzun süreli kullanılabilen ve korozyon direnci yüksek olan sistemler tasarlamak mümkün olacaktır. Lehim yapılırken şaloma kullanılarak yüksek sıcaklıklara çıkıldığı için; sıcaklık etkisiyle ITAB (Isı tesiri altında kalan bölge) bölgesinde korozyon direnci daha düşük olarak gerçekleşmektedir.
- Tırtıl çekme işlemi çeşidinin korozyon sonuçlarına belirgin bir etkisi olmamıştır. Bu yüzden deney setlerinde basınçlı testlerde en iyi sonucu veren tırtıl deseni kullanılarak korozyon testleri gerçekleştirilmiştir.

- Gerekli kürlenme süresi beklenmediğinde yapıştırıcının gerekli işlevi yerine getiremediği tespit edilmiştir. Yapıştırıcıların nihai performansına ulaşabilmesi için en az 3 saat boyunca krlenmesinin beklenmesi gerektiği ortaya çıkmıştır.
- Borunun 110 bar basıncı geçebilmesi soğutucu eleman olarak kullanılmasında bir problem olmadığı anlamına gelmektedir. Seçilen tırtıl deseni ve yapıştırıcı ikilisi kullanıldığında bu basınçlara ulaşabildiği görülmüştür. Bu durum yapıştırma bağlantısının soğutma sisteminde kullanılması için umut verici bir gelişme olarak değerlendirilmiştir.
- Yapıştırıcı ile boru bağlantısı yapıldığı durumda mutlaka boru uç formunda yüzey alanının artışı sağlayacak tırtıl formu v.b. yapı kullanılmalıdır. Bu durumda elde edilen sonuçlar daha tatminkardır.

Yapılan bu çalışmalar neticesinde öneri olarak sunulan aşağıdaki çalışmaların yapılması, yapıştırıcı bağlantılarının piyasa şartlarında uygulanabilirliğinin sağlanması büyük faydası olacaktır. Tez alışması kapsamında yapılabilecek öneriler aşağıda sıralanmıştır.

- Boru yüzeyine uygulanan tırtıl desenlerinden test sonucu olarak bakıldığın olumlu sonuçlar alınmıştır. Desen eşitliliği üzerine çalışmalar yapılarak sonuçların optimize edilmesi sağlanabilir.
- Yapıştırma yönteminin lehim yöntemine göre en büyük dezavantajı kürlenme süresidir. Bu yöntemin ticari olarak uygulanabilmesi için 3 saat süren kürlenme azaltılması gerekmektedir. Kullanılan yöntemi ticari olarak kullanılabilir hale getirmek için yapıştırıcının kürlenme süresini hızlandıracak ilave ajan kullanılması çalışması yapılabilir ve bunun etkileri incelenebilir.

- Yapılan tez kapsamında aynı malzeme ikilisinin birbirleriyle yapışma durumu incelenmiştir. Alüminyum-bakır, çelik-bakır gibi farklı malzeme ikililerinin benzer test sonuçlarını verip vermeyeceği kontrol edilmelidir.
- Soğutma sisteminde kullanılan R600a gazının kullanıldığı soğutucularda HC (hidrokarbon) testinin yapılması ve ürünün testten geçmesi yasal bir zorunluluktur. Tek başına yapılan basınç testlerinde problem görülmemesine rağmen yapıştırma bağlantısı ile bağlanmış soğutucu borulardan oluşan bir üründe HC testinin tekrarlanarak bir problem olmadığı garanti altına alınmalıdır.
- Yapıştırma bağlantılarının lehim bağlantılarına göre titreşim sönümlenme ve darbeye karşı daha dayanıklı olacağı düşünülmektedir. Benzer şekilde eğme, bükme gibi işlemler yapıldığında da yapıştırma bağlantısının daha iyi sonuçlar vereceği tahmin edilmektedir. Bu görüşleri ispatlamak için çeşitli deney setleri tasarlanabilir.
- Soğutucu ürünlere yapılan lehim bağlantısının yerine yapıştırma bağlantılarının ikame edilebilmesi için bu bağlantıların ürünün ekonomik ömrü boyunca (ortalama 10 yıl) bir problem çıkmayacağına garanti edilmesi gerekir. Bu durumun simülasyonunun yapılabilmesi için hızlandırılmış testler tanımlanabilir.
- Bu bağlantılara sahip ürünlerin farklı iklim şartlarında çalışacağı düşünülecek olursa farklı nem ve sıcaklık ortamlarında bu bağlantılara sahip ürünlerin test edilmesi ve problem çıkmadığının teyidi yapılması gerekli olacaktır.
- Kullanılan yapıştırıcıların soğutucu gazlar ile olan etkileşimlerine uzun vadeli olarak bakılmalı ve kanuni yükümlülüklerin getirdiği zorunlulukların sağlanıp sağlanmadığından emin olunması için ilave testler yapılması faydalı olacaktır.
- Maliyet olarak karşılaştırıldığında lehim yöntemi -içerdiği risklere rağmen- hala en ucuz yöntemdir. Bu yüzden yapıştırıcı bağlantılarının otomasyona uygun yapılması ve böylece ek işçiliklerin nasıl düşürüleceğinin belirlenmesi tarafında çalışmalar

yapılabilir. Mevcut durumda üzerinde tırtıl deseni olmadan kullanılan borulara ilave bir operasyon getirerek boru uçlarına desen yapılması da ilave bir işçilik ve maliyet kaynağı sayılabilir.

- Yapıştırma yönteminin ticari olarak ürünlere uygulandığı durumda, müşterinin evinde servis işlemi yapılamayan soğutma sistemi tamir yöntemi müşteri evinde yapılabilir hale gelecektir. Bu sayede müşteri memnuniyeti sağlanacak ve maliyet kazancı olacaktır. Bu nedenle ilgili yöntem seri üretimde kullanılamasa bile müşterilere ayrıca bir servis çözümü olarak da sunulabilir.
- Tez çalışması kapsamında yapılan testlerde kullanılan yapıştırıcıların seri üretime uygun şekilde temin edilmesi gerekecektir. Mevcut tüplerle en fazla 30-40 adet arası boru bağlantısı yapılabilmektedir. Kullanılan yapıştırıcı tüplerinin büyük gramajlarda temin edildiği durumda maliyetin ne noktaya gideceği ve uygulamanın nasıl olacağı ile ilgili çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Açık M., 2015, AISI 1010-bakır malzeme çiftinin sürtünme kaynak yöntemi ile birleştirilebilirliği, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, Elâzığ, s.24-34
- Alves L.M., Nielsen C.V., Silva C.M.A., Martins P.A.F., 2016, Joining end-to-end tubing of dissimilar materials by forming, Pressure vessel and piping, p. 25-30
- Arslan G., 2012 Kanatlı Borulu Isı Değiştiricilerinde İç Yüzeyi Yivli Boru Kullanımının Isı Geçişine Etkisi, Tesisat Mühendisliği Dergisi Sayı 132, p. 12-17
- Anonim, 2018, Doğru Kaynak Yöntemi,
<https://borsenboru.com/?page=p§ion=dogru-kaynak-yontemi>, erişim tarihi:10.01.2019
- Anonim, 2018, Borulara Kaynak Yapma Yöntemi
<http://cantasteknik.com/borulara-kaynak-yapma-duzgun-bir-sekilde-nasil-yapilmali>, erişim tarihi:10.01.2019
- Anonim, 2018, İndüksiyon Yöntemi
<https://inductotherm.com.tr/induksiyon-nedir>, erişim tarihi:10.01.2019
- Anonim, 2018, Induction brazing – Wikipedia
https://en.wikipedia.org/wiki/Induction_brazing, erişim tarihi:10.01.2019
- Anonim, 2018, Automated induction brazing of copper pipes in refrigerator
<https://ultraflexpower.com/induction-heating-applications/induction-brazing-application/automated-induction-brazing-of-copper-pipes-in-refrigerator-assembly-for-in-place-brazing>, erişim tarihi:10.01.2019
- Anonim, 2018, Embraco,
<http://www.embraco.com/Default.aspx?tabid=188>, erişim tarihi:10.01.2019
- ASTM D 907-90, 1990. Standard terminology of adhesives, American Society for testing and materials, Philadelphia.
- Aydın, M. D., 2003. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş tek tesirli bindirme bağlantısının mekanik özelliklerinin deneysel ve teorik incelenmesi, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum. s. 20-30
- Aydın M. D., Temiz S. and Özel A., 2007. Effect of curing pressure on the strength of adhesively bonded joints, The Journal of Adhesion, 83, 553-571

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Balta B., 2016, Sürtünme Kaynağı ve Manyetik Ark Kaynağı ile birleştirilmiş boruların mikro yapısal ve mekanik karakterizasyonu, Kocaeli Üniversitesi Doktora Tezi, Kocaeli, s. 10
- Brandy G. S., Clauser H. R., Vaccari J. A., 1997. Materials Handbook, McGraw Hill, New York.
- Çelik S., Ay İ., 1996, Koruyucu gaz altında bakır ve alüminyum malzemelere yapılan difüzyon kaynağı ve uygulamasının etkileri, Engineering and Environmental Science, s.1-8
- Dorian Tools, 2016, Knurling Tools for cutting and forming, Dorian Tool Catalogue, p.6-9
- Eshtayeh M., Hrairi M. ,2015, Clinching process for joining dissimilar materials: state of the art, Advanced Manufacturing Technology, p. 1-17
- Ghumatkar A., Sekhar R., Budhe S., 2015, Experimental study on different adherend surface roughness on the adhesive bond strength, Materials Today Proceedings, p.1-9
- Gürler, S.,2006, R134a ve R600a soğutucu akışkanlı ev tipi buzdolaplarında ekserji analizi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir, s. 26-36
- Gündoğdu A.S.,2012, Yüksek frekanslı indüksiyon kaynağı yöntemiyle üretilen boyuna dikişli çelik borularda kullanılan mikro alaşımlı malzemelerin kaynak zayıflığının azaltılması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bil. Ens., İstanbul, s. 3-5
- Incropera F., Dewitt D., Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 2007, Sixth Edition, John Wiley&Sons
- Kah P., Vimalraj C., Martikainen J., Suoranta R., 2015, Factors influencing Al-Cu weld properties by intermetallic compound formation, International Journal of Mechanical and Materials Engineering, p. 1-14
- Kaya, F., 2004, Ana Hatları ile Yapıştırıcılar, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Kim J. K. and Lee D. G., 2004. Effects of applied pressure and temperature during curing operation on the strength of the tubular single, p. 1-5
- Leena K., Athira K.K., 2016, Effect of surface pre-treatment on surface characteristics and adhesive bond strength of Aluminium alloy, Adhesion&Adhesives, p. 1-6

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Loctite Corporation, 1997. Loctite Worldwide Design Handbook, Loctite Corporation, Hartford.
- MEB, 2014, Makine Teknolojisi, Temel Tornalama Teknikleri 2, s. 34-37
- MEB, 2012, Soğutma ve Soğutucular, s. 3-12
- Özel, K., 2008, Alüminyum-bakır boruların yapıştırma yöntemi ile birleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 4-5, 19-27
- Süner, M.,2000, Soğutma sistemlerinde basınç kayıplarının analizi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 2-3
- Şekercioğlu T., Meran C., 2003, The effects of adherend on the strength of adhesively bonded cylindrical components, Elsevier, p. 1-5
- Şekercioğlu T., Rende H., Gülsöz A., Merana C., 2003, The effects of surface roughness on the strength of adhesively bonded cylindrical components, Materials Processing Technology, p. 1-5
- Wibowo W., Ismail R., Jamari J., 2008, Microstructure analysis in friction welding of copper and Aluminium, AIP Conference Proceedings 1725, s. 4
- Temiz, S., 2003, Yapıştırıcı bağlantılarının mekanik özellikleri üzerine çevresel faktörlerin etkisinin incelenmesi, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Tezcan, A., 2018, Ankastre buzdolaplarında kullanılan çift çevrimli kompakt kondenserin modellenmesi ve optimizasyonu, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, s. 11
- Tosun, M.,2010, Bir Mini kanallı Buharlaştırıcının Performansının Deneysel Olarak Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, s. 49-54
- TS EN ISO 10365/Nisan 2001, 2001. Yapıştırıcılar-Başlıca kusurların gösterilmesi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Ünver, E., 2011, Soğutma sistemi kılcal boru emiş hattı ısı değiştiricisinin sayısal ve deneysel modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 7-15

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Vulkan Lokring, 2017, Mechanical Tube Joining Systems For Refrigerant Lines, p. 10-32

Yeşilata, B., 2007, Mühendislikte Temel Termodinamik, Harran Üniversitesi Yayınları, s. 164-166

Yılmaz, H.,2012, Ev tipi buzdolabı kondenserinin kabin dibi performansının sayısal araştırılması, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, s.9-13

Zhang Qi., Jin K., Mu D., 2014, Tube/tube joining technology by using rotary swaging forming method, Journals of Materials Processing Technology, p. 1-5