



**FÜZYON TEKNİĞİNDE YAYGIN
OLARAK KARŞILAŞILAN
PROBLEMLER VE ÇÖZÜM YOLLARI**

Yüksek Lisans Tezi

Çiğdem YURTSEVEN ÇİÇEK

Eskişehir, 2019

**FÜZYON TEKNİĞİNDE YAYGIN OLARAK KARŞILAŞILAN
PROBLEMLER VE ÇÖZÜM YOLLARI**

Çiğdem YURTSEVEN ÇİÇEK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cam Anasanat Dalı

Tezli Yüksek Lisans Programı

Danışman: Prof. Mustafa Ağatekin

Eskişehir

Anadolu Üniversitesi

Güzel Sanatlar Enstitüsü

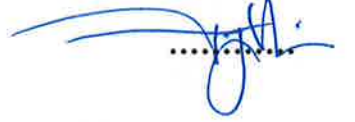
Mayıs, 2019

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

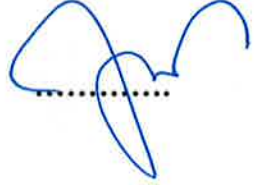
Çiğdem YURTSEVEN ÇİÇEK'in “Füzyon Tekniğinde Yaygın Karşılaşılan Problemler ve Çözüm Yolları” başlıklı tezi **31 Mayıs 2019** tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca, **Cam Anasanat Dalı Yüksek Lisans** tezi olarak değerlendirilerek kabul edilmiştir.

İmza

Üye (Tez Danışmanı) : Prof. Mustafa AĞATEKİN



Üye : Doç. Hasan BAŞKIRKAN



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Gökтуğ GÜNKAYA



Prof. Hayri ESMER
Anadolu Üniversitesi
Güzel Sanatlar Enstitüsü Müdürü

ÖZET

FÜZYON TEKNİĞİNDE YAYGIN OLARAK KARŞILAŞILAN PROBLEMLER VE ÇÖZÜM YOLLARI

Çiğdem Yurtseven Çiçek

Cam Anasanat Dalı

Anadolu Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü, Mayıs, 2019

Danışman: Prof. Mustafa Ağatekin

Bu tez çalışması; fırında cam şekillendirme tekniklerinden biri olan füzyon tekniğinin araştırılması ve bu teknikte yaygın karşılaşılan bazı sorunların giderilmesi veya oluşabilecek sorunları aza indirmek için çözüm yollarını incelemektedir. Ayrıca bu çalışmayla; Ülkemizde cam şekillendirme tekniklerinden biri olan füzyon tekniğini anlatan ya da inceleyen Türkçe örneklerinin olmayışı sonucu ortaya çıkan kaynak yetersizliğinin giderilmesi amaçlanmıştır.

Beş bölümden oluşan araştırmanın Birinci Bölümünde füzyon tekniği tanımı ve tarihçesi anlatılmış, İkinci Bölümde ise bu tekniğin genel prensipleri ve uygulama türleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Araştırmanın Üçüncü Bölümünde füzyon tekniğinde kullanılan gereçler başlığı altında bu teknikte kullanılan camlar, özellikle plaka cam ve üretim yöntemleri detaylı olarak ele alınmış ve diğer başlıca malzeme ve aletler başlıklar altında incelenmiştir. Dördüncü Bölümde füzyon tekniği uygulamalarında bilinmesi gereken tanımlar, genel prensipler ve kullanılan gereçler hakkında detaylı bilgi verildikten sonra Beşinci Bölümde füzyon tekniği uygulamalarında yaygın karşılaşılan problemler ve çözüm yolları araştırılmıştır. Son bölümde ise tez konusu bağlamında füzyon tekniği uygulanarak gerçekleştirilen kişisel uygulamalar yer almaktadır.

Anahtar Kelimeler: Füzyon tekniği, Füzyon problemleri, Cam sanatı.

ABSTRACT

**IN FUSION TECHNIQUE ENCOUNTERED COMMON PROBLEMS AND THE
SOLUTIONS**

Çiğdem Yurtseven Çiçek

Department of Glass

Anadolu University, Faculty of Fine Arts, May, 2019

Advisor: Prof. Mustafa Ağatekin

The aim of this thesis is to investigate the fusion technique which is one of the techniques of kiln-forming glass and to solve some common problems in this technique and to find solutions to minimize the problems may occur. It is aimed to eliminate this resource deficiency in our country due to the lack of Turkish examples which is explained or examined the fusion technique which is one of the glass forming techniques.

In the first part of the research which consists of five main sections the definition and history of the fusion technique is explained. In the second part, the general principals and application types of this technique are examined in detail. In the third part of the study, the glasses, especially the plate glass used in this technique under the heading of the equipment used in the fusion technique, and production methods were discussed in detail and other major materials and tools were examined under the headings. After giving detailed information about the definitions, general principles and tools used in fusion technique applications up to the fourth part, the problems encountered in the fusion technique applications and the problems encountered in the heat treatment stages and other problems are discussed. In the last part, personal composes, was considered and paid attention to reflect the findings about fusion technique.

Keywords: Fusion technique, Fusion problems, Glass art.

TEŞEKKÜR

‘Füzyon Tekniğinde Yaygın Olarak Karşılaşılan Problemler ve Çözüm Yolları’ başlıklı yüksek lisans tez konusu ile araştırma yapmamı sağlayan, tez çalışmamın tüm aşamalarında her türlü bilgi ve deneyimini tüm içtenliği ile paylaşan kıymetli danışmanım ve hocam Prof. Mustafa Ağatekin’e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince her türlü desteği veren başta annemi özlemle anıyor ve her zaman yanımda olan eşim ve babama teşekkür ediyorum.

Çiğdem YURTSEVEN ÇİÇEK

31.05.2019

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tez/proje çalışmasının bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmanın hazırlık, veri toplama, analiz etme ve bilgilerin sunumunda bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilmeyen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Anadolu Üniversitesi tarafından kullanılan bilimsel intihal tespit programıyla tarandığını ve hiçbir şekilde intihal içermediğini beyan ederim.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm



(İMZA)

ÇİĞDEM YURTSEVEN ÇİÇEK

İÇİNDEKİLER

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR	v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
GÖRSELLER DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ.....	xiii

BİRİNCİ BÖLÜM

1. FÜZYON TEKNİĞİ TANIMI VE TARİHÇESİ.....	1
1.1. Tanım	1
1.2. Tarihçe	2

İKİNCİ BÖLÜM

2. FÜZYON TEKNİĞİNİN GENEL PRENSİPLERİ VE UYGULAMA TÜRLERİ	14
2.1. Uyumluluk	14
2.1.1. Genleşme katsayısı (coefficient of expansion)	15
2.1.2. Viskozite.....	15
2.2. Tavlama ve Gerilim noktası.....	17
2.3. Füzyon Tekniğindeki Isıl İşlem Evreleri ve Değişkenler.....	22
2.3.1. Ön ısıtma evresi (Oda sıcaklığı-538°C).....	23
2.3.2. Hızlı ön ısıtma evresi (538° -677°C).....	23
2.3.3. Hızlı ısıtma evresi (538°C-Maksimum çalışma sıcaklığı).....	24
2.3.4. Maksimum çalışma sıcaklığı (538° -927°C)	24
2.3.5. Hızlı soğutma evresi (Maksimum çalışma sıcaklığı- 482 °C).....	24

2.3.6. Tavlama evresi (482 °C)	25
2.3.7. Tavlama soğutma evresi (482°- 371°C)	25
2.3.8. Oda sıcaklığına soğutma evresi (371°- Oda sıcaklığı).....	26
2.4. Füzyon Tekniğinin Uygulama Türleri	26
2.4.1. Yarı füzyon	27
2.4.2. Tam füzyon	30
2.4.3. Yüksek ısıda füzyon	33
2.4.4. Eklemeler	36

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. FÜZYON TEKNİĞİNDE KULLANILAN GEREÇLER.....	45
3.1. Füzyon Tekniğinde Kullanılan Camlar ve Özellikleri.....	45
3.1.1. Düz camlar ve üretim yöntemleri.....	45
3.1.1.1. Üfleme göbekli cam	49
3.1.1.2. Dökme-silindirme yöntemi	50
3.1.1.3. Yüzdürme yöntemi (float).....	52
3.1.2. Farklı form ve etkideki camlar	53
3.2. Cam Füzyon Tekniğinde Kullanılan Başlıca Malzeme ve Aletler.....	56
3.2.1. Kesim aletleri.....	57
3.2.2. Fırınlara	59
3.2.3. Destek malzemeleri	61
3.2.4. Yardımcı malzemeler.....	62
3.2.5. Cam boya ları	64
3.2.6. Güvenlik ve koruyucu malzemeler.....	66

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

4. FÜZYON TEKNİĞİ UYGULAMALARINDA YAYGIN KARŞILAŞILAN PROBLEMLER VE ÇÖZÜM YOLLARI.....	68
4.1. Isıl İşlem Evrelerinde Karşılaşılan Problemler.....	68
4.1.1. Ön Isıtma evresinden maksimum çalışma sıcaklığına kadar karşılaşılan problemler	69
4.1.1.1. Çatlaklar.....	69
4.1.1.2. Hava kabarcığı.....	70

4.1.2. Maksimum çalışma sıcaklığı evresinde karşılaşılan problemler	72
4.1.2.1. Şekil bozulmaları (Büzülme-çekilme-yayılma).....	73
4.1.2.2. Renk değişimleri	76
4.1.2.3. Devitrifikasyon.....	77
4.1.2.4. Hava kabarcığı.....	80
4.1.3. Tavlama evresinde karşılaşılan problemler	84
4.1.3.1. Çatlaklar.....	84
4.2. Diğer problemler ve çözüm yolları	87
4.2.1. Uyumsuzluk	87
4.2.2. Kirli yüzey.....	90
4.2.3. Kullanılan fırın tipi	91
BEŞİNCİ BÖLÜM	
5. KİŞİSEL UYGULAMALAR.....	94
5.1. Uygulama Aşamaları	94
5.2. Yapılan Kişisel Uygulamalar	98
5.2.1. İçimdeki boşluk	99
5.2.2. Boşlukta sarılalım	100
5.2.3. Tut elimi.....	101
5.2.4. Bir-likte	102
SONUÇ	103
KAYNAKÇA.....	109
ÖZGEÇMİŞ	112

GÖRSELLER DİZİNİ

Görsel 1.1. <i>Mozaik Cam Kase (M.Ö. 1.yy civarı) (y: 7.4 cm, ağız genişliği 12.3 cm)</i>	4
Görsel 1.2. <i>Dilimlenmiş Mısır Mozaikleri (M.Ö. 1.yy)</i>	5
Görsel 1.3. <i>Dionysus maskeli mozaik tabak, muhtemelen Mısır'a ait ve M.Ö. 1.yy'dan M.S. 1.yy tarihleri arasında yapıldığı düşünülmektedir.</i>	5
Görsel 1.4. <i>Dendara hayvan mezarlığında bulunan cam öğeler</i>	6
Görsel 1.5. <i>'Kap ve kalıp' Frances ve Michael Higgings fırında şekillendirilmiş plaka cam, 1948.....</i>	8
Görsel 1.6. <i>Klaus Moje- (isimsiz), 2016.....</i>	9
Görsel 1.7. <i>Melograno, 2012 24 x 44.5 x 27.5 , Toots Zynsky.....</i>	10
Görsel 1.8. <i>Jaqueline Cooley, 'Leaf Bowl' Bullseye cam, Füzyon-Çökertme (50 x 10 cm)</i>	10
Görsel 1.9. <i>Inge Panneels ve Jeffrey Sarmiento, 'Liverpool Map', 2010.....</i>	11
Görsel 1.10. <i>Jeremy Lepisto.....</i>	12
Görsel 1.11. <i>Black Vase, Bottle, Bowl serilerinden bir bölüm -Jane Bruce</i>	12
Görsel 1.12. <i>Colourfields 8, 22- Udo Zembok.....</i>	13
Görsel 1.13. <i>Colourfields (detay)- Udo Zembok.....</i>	13
Görsel 2.1. <i>Libensky Tavlama Metodu.....</i>	20
Görsel 2.2. <i>A-Yarı Füzyon, Görsel B- Tam Füzyon</i>	27
Görsel 2.3. <i>Cell, Julius Weiland, 2006.....</i>	28
Görsel 2.4. <i>Yarı Füzyon Isıl İşlem Evreleri.....</i>	28
Görsel 2.5. <i>Tam Füzyon- Sally Dunnett</i>	31
Görsel 2.6. <i>Tam Füzyon Isıl İşlem Evreleri</i>	31
Görsel 2.7. <i>Tarama İçin Kullanılan Malzemeler</i>	35
Görsel 2.8. <i>A- Tarama Yapılmadan Önce, B- Tarama yapıldıktan sonra</i>	35
Görsel 2.9. <i>Potadan Akıtma</i>	36
Görsel 2.10. <i>'Encyclopaedia', 2013. Serigrafi, Füzyon ve parlatma 107 x 21 x 15 cm</i>	38
Görsel 2.11. <i>İki Cam Arasında Füzyonlanmış Bakır Folyo,</i>	39
Görsel 2.12. <i>Füzyon- İki Cam Arası Mika</i>	39

Görsel 2.13. <i>Füzyon- İki Cam Arasında Kullanılan Cam Çucuklar Ve Oluşmuş Hava Kabarcıkları</i>	40
Görsel 2.14. <i>'Legion', Joanne Mitchell, 2015 (sujeti kesim-Füzyon)</i>	41
Görsel 2.15. <i>'Deconstructed Being' Detay, Joanne Mitchell, 2015 (sujeti kesim, füzyon)</i>	41
Görsel 2.16. <i>Mustafa Ağatekin 'Sohbet' 2004 cam içi seramik,</i>	42
Görsel 2.17. <i>Lara Aldridge</i>	43
Görsel 2.18. <i>Eklemeler Isıl İşlem Evreleri</i>	44
Görsel 3.1. <i>Üflenip silindir haline getirilip düz cam üretim yöntemi</i>	47
Görsel 3.2. <i>Üfleme göbekli cam üretimi</i>	50
Görsel 3.3. <i>Renkli Plaka Camlar</i>	51
Görsel 3.4. <i>Pencere Camı Üretim İşlemi</i>	53
Görsel 3.5. <i>Çubuk camlar</i>	54
Görsel 3.6. <i>Konfeti</i>	54
Görsel 3.7. <i>Tozlar ve Fritler</i>	55
Görsel 3.8. <i>Dikroik Camlar</i>	56
Görsel 3.9. <i>Daiirel kesici</i>	57
Görsel 3.10. <i>A-Hazneli Elmas, B-Elmas, C- Kesme pensesi, D- Penseler</i>	58
Görsel 3.11. <i>Elektrikli flatbed fırın</i>	60
Görsel 3.12. <i>Isıtma elemanlarının yerlerine göre farklı fırınlar</i>	60
Görsel 3.13. <i>Destek malzemeler</i>	61
Görsel 3.14. <i>Dijital ısı programlayıcısı</i>	62
Görsel 3.15. <i>Ultraviole lambası ile test edilmiş iki pencere camı (B) Kalaylı yüzeyi gösterirken, (A) göstermez</i>	63
Görsel 4.1. <i>Tam Füzyon Uygulamalarında Şekil Bozulmaları</i>	73
Görsel 4.2. <i>Tam Füzyon Uygulamalarında Şekil Bozulmaları</i>	74
Görsel 4.3. <i>Karşılaşılan Bazı Şekil Bozuklukları</i>	75
Görsel 4.4. <i>'Striking' Bullseye Cam Renkleri</i>	77
Görsel 4.5. <i>Devitrifikasyon Örneği</i>	78
Görsel 4.6. <i>Büyük hava kabarcığı</i>	81
Görsel 4.7. <i>Tavlamadan kaynaklanan çatlama örneği</i>	81
Görsel 4.8. <i>Uyumsuzluktan kaynaklanan çatlama örneği</i>	81

Görsel 4.9.	<i>Camda Düzensiz Yüzey Oluşumu</i>	92
Görsel 5.1.	<i>Kesilmiş plaka camların arasına diğer cam parçaların yerleştirilmesi</i>	92
Görsel 5.2.	<i>Füzyon boyası ile çizim</i>	92
Görsel 5.3.	<i>Cam parçalarının ayrı katmanlara yerleştirilmesi</i>	92
Görsel 5.4.	<i>Kesilen parçaların düzenlenmesi</i>	92
Görsel 5.5.	<i>Kesilen parçaların düzenlenmesi</i>	92
Görsel 5.6.	<i>Uygulamaların fırına yerleştirilmesi</i>	98
Görsel 5.7.	<i>İçindeki Boşluk</i>	99
Görsel 5.8.	<i>Boşlukta Sarılalım</i>	100
Görsel 5.9.	<i>Tut Elimi</i>	101
Görsel 5.10.	<i>Bir-likte</i>	102

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. <i>Bazı Camların Tavlama ve Gerilim Aralıkları</i>	18
Tablo 2.2. <i>Libensky Tavlama/Soğutma Metodu</i>	21
Tablo 2.3. <i>Bullseye Kalınlık Esaslı Tavlama Tablosu</i>	22
Tablo 2.4. <i>Yarı Füzyon Kalınlık Esaslı Bekleme Süreleri</i>	30
Tablo 2.5. <i>Tam Füzyon Kalınlık Esaslı Bekleme Süreleri</i>	32
Tablo 2.6. <i>Cam İçerisindeki Eklemeler Sınıflandırması</i>	37
Tablo 4.1. <i>Füzyon Tekniği Uygulamalarında Karşılaşılan Problemler</i>	68
Tablo 4.2. <i>Isıl İşlem Evrelerinde Camın Davranışı (538 °C altında)</i>	70
Tablo 4.3. <i>Isıl İşlem Evresinde Camın Davranışı (538°-677 °C)</i>	71
Tablo 4.4. <i>Bullseye Camının İşlem Aralıkları</i>	72
Tablo 4.5. <i>Isıl İşlem Evresinde Camın Davranışı (760°-816°C)</i>	74
Tablo 4.6. <i>Isıl İşlem Evresinde Camın Davranışı (677°-732°C)</i>	79
Tablo 4.7. <i>Isıl İşlem Evresinde Camın Davranışı (816°-871°C)</i>	82
Tablo 4.8. <i>Isıl İşlem Evresinde Camın Davranışı (871°-927°C)</i>	83
Tablo 5.1. <i>Kullanılan Fırın Programı</i>	95

BİRİNCİ BÖLÜM

1. FÜZYON TEKNİĞİ TANIMI VE TARİHÇESİ

1.1. Tanım

Füzyon kelimesinin Türk Dil Kurumundaki karşılığı; birleşme, kaynaşmadır [TDK, 2005]. Oxford Advanced Learner's Dictionary, İngilizcede “fusion” olan kelimenin ilk anlamını, tek bir varlık oluşturmak için iki veya daha fazla şeyi bir araya getirme işlemi olarak tanımlanmıştır (2006). Diğer anlamlarından biri ise bir malzemenin ya da nesnenin, başka bir nesne ile yoğun ısıyla eriyerek birleşme sürecidir. Bu sözcüğün kökenini ise Latince *fusio- fundere* ‘dökmek, eritmek’ fiilinden gelmektedir (http-1).

Füzyon kelimesinin Türkçe sözlüklerdeki anlamlarının dışında teknik olarak kullanıldığı bir de terim anlamı bulunmaktadır. İlk anlamında kullanıldığında füzyonun, maddenin fiziksel görünümünü tanımladığı görülürken, terim anlamında kullanımında farklı kaynaklarda farklı tanımlamalara rastlanmaktadır. Birçok kişi "füzyon" ve "fırında şekillendirme" terimlerini birbirlerinin yerine kullanır; fakat füzyon tekniği fırında cam şekillendirme yöntemlerinden biri olduğu için tekniğin bu anlamda kullanımı doğru değildir. İnsanlar aynı zamanda "fırın camı" ve "füzyon camı" nı da birbirinin yerine kullanmaya eğilimli olsa da, hali hazırda fırında ısıtılma işlemi uygulanmış ve başka bir cam parçasıyla kaynaşmış çalışmaları tanımlamak için "füzyon cam" olarak tanımlanmasını tercih ettikleri görülmektedir (http-2). Dolayısıyla tanımlamayı yaparken füzyonun kelime ve terim anlamlarını birbirine karıştırmamak gerekir.

Bazı yabancı kaynakların ortaya koyduğu tespitlere göre füzyon tekniği; “eritilerek veya yumuşatılarak iki veya daha fazla camın birleştirilmesi işlemidir. Ayrıca Füzyon tekniği cam katmanlarını üst üste koyarak düz nesneler oluşturmak için yapılan uygulamaları tanımlamakta kullanılan genel bir terimdir (Beveridge, Domenech ve Pascual, 2005: 80)". Thwaites’in (2011) tanımına göre füzyonun temel anlamı; cam parçalarının yumuşayarak kalıcı olarak birbirine yapışması için yeterli sıcaklıkta ve yeterli sürede bekletmektir. Watkins- Baker ise füzyon terimini; ısıtılma etkisini kullanarak iki veya daha fazla cam parçasını birbirine yapıştırma işlemi olarak tanımlamıştır (2010, s.73).

Basit bir ifadeyle füzyon, ısıtma işlemi uygulanan camın yumuşak ve yapışkan hale gelmesiyle temas ettiği diğer cam parçalarına yapışması ve bağlanması anlamına gelir. Bu teknikte, en yaygın malzeme olarak plaka cam kullanılır ancak teknik olarak diğer fırında şekillendirme yöntemlerinden bazıları (pate de verre gibi) bir işlem basamağı olarak kalır ve teknik farklı adlandırılır (Watkins- Baker, 2010, s.73).

Bu tanım ve saptamalar ışığında füzyon tekniği; iki ya da daha fazla, farklı kalınlık ve biçimlerdeki camın (genellikle plaka cam) ısıtma işlemi sonucu eriyerek birleşme işlemi olarak tanımlanabilir. Füzyon tekniğinde camın çalışma sıcaklığının kontrol edilmesiyle uygulamalar çeşitlenir. Isıtma işlemi aralığının genişliği nedeniyle, füzyon tekniğinin etkileri geniş bir yelpazede görülebilir ve sonuçlar birbirinden radikal olarak farklılaşabilir. Farklı kalınlık ve biçimlerde plaka camlar, çubuk camlar, cam granüller kullanılabilen hatta bazı uygulamalarda katmanlar arasında boya ve cam ile uyumlu farklı malzemeler de kullanılmaktadır. Füzyon tekniği; plaka cam uygulamalarında genellikle kalıp kullanmadan, tek ya da katmanlar halinde de yapılabilir. Fakat aynı zamanda, fırında şekil ve yüzey yaratmak için kalıplar, şekillendiriciler ve çeşitli türde desteklerin kullanıldığı uygulamalar da mevcuttur.

1.2. Tarihçe

Fırında cam şekillendirme tekniklerinden biri olan füzyon tekniğinin kökeni kesin olarak bilinmese de, arkeolojik bulgular Mısırlıların temel teknikleri bildiklerini, en eski füzyon tekniklerinin de, cam konusunda daha üretken olan Romalılar tarafından geliştirildiğini göstermektedir. Milattan önce 3. yüzyılın ikinci yarısında temel füzyon ve çöktürme tekniklerinin geliştirilmiş olduğu görülmektedir (http-3). Tarihsel süreçte füzyon tekniğinin en erken örnekleri incelendiğinde tekniğin diğer bazı cam teknikleriyle birlikte kullanıldığı söylenebilir. Buna örnek olarak mozaik, çöktürme gibi teknikler verilebilir. Başka bir ifade ile füzyon tekniğinin bu tarz çalışmalarda üretim sürecinde bir basamak olduğu görülmektedir. Erken dönem fırında cam şekillendirme yöntemleri açısından, form oluşturmada kalıpların kullanıldığına dair çok sayıda kanıt bulunmaktadır. Mısırlılar taş ve ahşap panellerde ya da mücevheratta kullanılmak üzere cam parçalar üretmek için açık, derin olmayan kalıplar kullanıyorlardı. Mezopotamya'da, cam mozaik tekniğinin, yaklaşık M.Ö.1400'lü yıllarda kap yapımında kullanıldığı görülmektedir. Bu teknik, sıcak camdan çubuk çekmek ardından da bunları keserek boşluklarına daha küçük ezilmiş camları, kalıp içine yerleştirme yoluyla

gerçekleştirilir. Etkili bir şekilde çubukların kaynaşması için füzyon tekniği uygulanmış ve iç tarafından da iç kalıp malzemesi ile desteklenmiştir. Yunanlılar, bu tekniği daha ileri bir noktaya taşımış ve çok renkli çubuklarla kâseler yapmışlardır. Bu uygulamalar genellikle iki kez fırınlama gerektirmektedir ve ilk önce füzyon tekniğinde parçalar birleştirilmiş ardından kalıp üzerine "çöktürme" yapılarak işlem sonlandırılmıştır (Watkins-Baker, 2010, s.16). Cam tarihinde Mısırlı cam işçilerinin eşi olmayan şekillerde çubuk manipülasyonları ve füzyon tekniğini uyguladıkları söylenebilir.

M.Ö. 3. yüzyılın ikinci yarısında tamamen Helenistik tarzda üretilmiş cam eşyalar ortaya çıkmıştır. Güney İtalya'da Canosa'daki mezarlardaki buluntuları, M.Ö. 3. ve 2. yüzyıllar arasında yapılmış ilk dönem Helenistik kapların en iyi örnekleridir. Bu bulgular, Helenistik ve Erken Roma üretiminin ayırt edici özelliklerinden biri haline gelecek olan bir geleneğin başlangıcını müjdeleyen mozaik camlardır. Büyük plakalar, genellikle spiral veya yıldız desenleri oluşturan ve sıklıkla renkli veya altın sandviç tekniği ile yapılmış cam parçalarının da serpiştirildiği renkli çubukların kesilmesi ile oluşturulmuştur (Tait, 2012, s. 48).

Helenistik dönem, temelde Yunan kültürünün yayılmasıyla belirginleşen ve cam endüstrisinin daha önce hiç olmadığı kadar geliştiği bir dönemdir. İmalat endüstrisinin büyümesiyle ortaya çıkan lüks ürünlerin yeni pazarlar oluşturması uzak mesafeli ticaretin artmasına da neden olmuştur (Tait, 2012, s.50). Helenistik mozaik cam kaselerin belki de en bilinen özelliği, genellikle çok renkli spiral veya yıldız desenli çubukların düzgün biçimde kesilmesinin ardından füzyon ve yarı küresel biçimli çökertme yapılmış olmasıdır (Görsel 1.1). Bu özellik, Roma döneminde de varlığını sürdürmüş ve tabii ki Mezopotamya ve Mısırlı cam üreticileri tarafından da uygulanmıştır (http-3).



Görsel 1.1. Mozaik Cam Kase (M.Ö. 1.yy civarı) (y: 7.4 cm, ağız genişliği 12.3 cm)

(<https://www.cmog.org/artwork/mosaic-glass-bowl>) (Erişim tarihi:06.02.18)

İskender'in M.Ö. 332 yılında kurduğu Mısır'ın yeni başkenti olan İskenderiye'nin, Helenistik cam ürünlerinin yanı sıra birçok lüks ürünün üretiminde de büyük bir merkez olduğu düşünülmektedir. İskenderiye'den ithal edilen camdan bahseden ilk kişi, Romalıların vekili ve politikacı olan Cicero'dur. Şu anda Mısır'da cam üretimi için yapılan arkeolojik kayıtlar fakir olarak nitelendirilmiştir, ancak çıkan örneklerden orada mozaik camının üretildiği açıktır. Güney İtalya'da bulunan bu tip örnekler orada yaşayan halkın güzel cam ürünlerine karşı olan zevkini ve cam üreticilerinin varlığını kanıtlar, bununla birlikte mozaik camların Yunan dünyasında ve Doğu Akdeniz'de de bulunduğu görülmektedir. Bu nedenle şu anda, bu muhteşem ve yenilikçi cam kapların imalat merkezi veya merkezlerinin yerini kesin olarak tespit etmek imkânsızdır (Tait, 2012, s.51). Nitekim mozaik camının Mısır'da 30. Hanedan Firavunu 2. Nectanebo'nun (360-343 M.Ö.) hüküm sürdüğü dönemde yeniden üretildiği oldukça kesindir. Dahası, Mısırlılar tekniği bu kadar erken bir tarihte benzeri olmayan bir şeyi üretmenin ötesinde daha karmaşık boyutta geliştirmiştir. Küçük renkli çubuklar ve çeşitli şekillerdeki öğeler arzu edilen deseni veya şekli (destenin her ucunda görünür) oluşturmak üzere bir deste haline getirilmiş, füzyon olana kadar ısıtılmış, daha sonra çekilerek minyatürize edilmiştir. Elde edilen çubuk tam olarak ekmek gibi dilimlenmiştir. Özellikle dilimler insan ya da başka bir yüzün tasvir ettiği şekillerdir ve aynı ya da farklı çubuktan alınan iki dilim kare bir zeminde tam yüz oluşturacak şekilde merkezde birleştirilmiştir (Tait, 2012, s.52). Aşağıda M.Ö. 1.yy'da yapılmış Mısır mozaik cam dilimlerinin örnekleri verilmiştir (Görsel 1.2. ve 1.3).



Görsel 1.2. Dilimlenmiş Mısır Mozaikleri (M.Ö. 1.yy)
(Tait,2012, s.52)



Görsel 1.3. Dionysus Maskeli Mozaik Tabak, Muhtemelen Mısır'a ait ve M.Ö. 1.yy'dan M.S. 1.yy tarihleri arasında yapıldığı düşünülmektedir.
(Beveridge, Domenech ve Pascual, 2005, s. 11)

Bununla birlikte, çoğu dilim tam bir desen veya şekil tasvir eder. (Görsel 1.4) Birçoğu ahşap gibi materyallere yerleştirilmiş kakmalar olarak kullanılmıştır. Dendera'daki hayvan mezarlığında bulunan ahşap tapınak çok sayıda cam öğeler ile

süslenmiş. Tapınak, Konstantin zamanına (M.S. 306-37) tarihlendirilmesine rağmen, daha önce yapılmış olduğu düşünülmektedir (Tait, 2012, s.52).



Görsel 1.4. *Dendara Hayvan Mezarlığında Bulunan Cam Öğeler (Tait,2012, s.53)*

M.Ö.1.yüzyılda geliştirilen bu teknikler ve uygulanan cam parçalar tek olarak çalışılmıştır (füzyon ve çökertme tekniği ile yapılan çağdaş uygulamaların aksine) bu durum da bu eserleri eşsiz ve çok değerli kılmıştır. Mozaik tekniğiyle yapılan cam objeler, son derece gelişmiş teknik bilgiye sahip zanaatkârların elinden çıkmış bir endüstrinin kanıtıdır. Çünkü mozaik cam yapmak; kullanılan camların uyumluluğu, fırın sıcaklığının hassas kontrolü ve diğer birçok husus hakkında bilgi gerektiren karmaşık bir süreçtir. Eskinin cam zanaatkârlarının mevcut olan kaynakları ile bugünün gelişmiş olanaklarını karşılaştırsak; bu zanaatkârların fizik ve kimyaya ilişkin ileri bilgi birikiminin, eşsiz özelliklere sahip nesnelerin yaratılmasına ve diğer zanaatkârlardan ayrılmasına neden olduğu gibi bir sonuç çıkar (Beveridge, Domenech, Pascual, 2005: 12).

Bir mozaği yapmak için, camlar bir kalıpta düzenlenir ve karıştırılmadan birbirine kaynaşana kadar ısıtılma işlemine tabi tutulur. Bu önceden oluşturulmuş birimler, tek renkli veya çok renkli çubuklardan, dikdörtgen çubuk kırıntıları ya da çeşitli cam parçalarından yapılmışlardır. Bu teknik ile yapılmış dekoratif motiflerin sonsuz çeşitlikte olduğu görülmektedir. Ancak mozaik camların üretimi fırın tekniklerinin yükselişi, üfleme cam tekniğinin yani üfleme çubuğunun icadı ile kısa ömürlü olmuştur. Bunun nedenleri arasında üfleme camın, fırında şekillendirilmiş cama kıyasla daha hızlı ve kısa sürelerde çoklu sayılarda üretilebilmesi ve düşük maliyette olması gösterilebilir. Sıcak cam üfleme tekniği Suriye’de başlayarak kısa ve hızlı bir şekilde tüm Roma

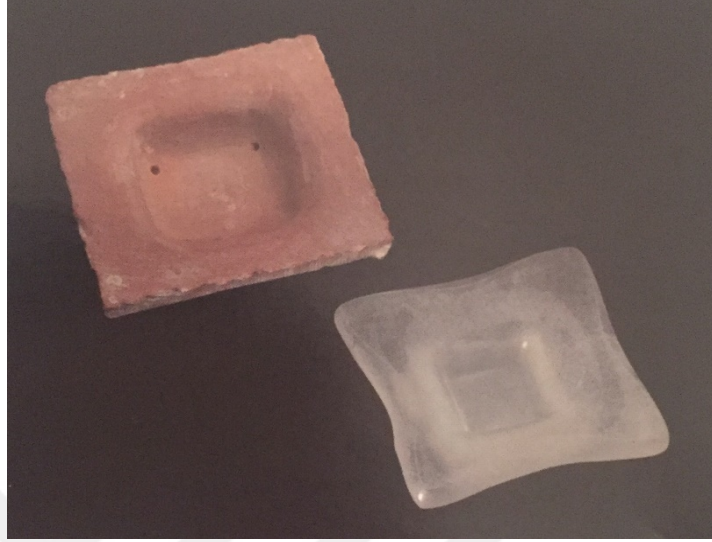
İmparatorluğuna yayılmıştır. Üfleme camın popülerliğine rağmen fırın teknikleri Yunan ve Roma Dönemleri'nde kullanılmaya ve geliştirilmeye devam etmiştir. Füzyon, kalıpla şekillendirme ve çökertme teknikleri ile yapılmış objeler üretilmeye devam etse de üretimi daha kolay ve daha ucuz olan üfleme objelerden sayıca çok azdır. Bu tekniklerin bilinciyle Romalı cam sanatçıları mozaik camın biçimsel ve renksel niteliklerini üfleme cama transfer etmiştir (Walker, 2010: 8).

Endüstri Devrimi ile fırınların, şişelerin ve cam kapların seri olarak üretilmesi gibi cam üretim aşamalarının geliştiği görülmüştür. 19.yy Avrupa'sında, el sanatlarındaki yükseliş ile sanatsal anlatımların ortaya çıkması ve arkeologların antik dönem cam sanatının keşfi ile de fırında şekillendirme tekniklerinin tekrar uygulanmasına araç olmuştur. Bu gelişmeler, fırında şekillendirme tekniklerinin yeniden doğuşu ve ikinci yükselişidir. Fırın kullanılarak yapılan cam teknikleri neredeyse iki bin yıl etkin bir teknik değildi, ancak 19.yüzyılın sonlarına doğru zahmetli ve uzmanlık gerektiren bu cam üretim yöntemi tekrar doğmuştur. Pate de verre ve kayıp balmumu cam döküm teknikleri Fransız Art Nouveau sanatçıları; Henri Cros, Albert Dammouse, Gabriel Argy-Rousseau, Amalric Walter, Emile Galle ve Rene Lalique ve Amerika'daki Frederick Carder tarafından uygulanmıştır. Galle ve Lalique gibi sanatçılar bu tür nesneleri toplu halde üretmeye başlarken, diğerleri ise el yapımı fikrine bağlı kalarak bu yeniden keşfi, eski tekniklerle yıllarca deney ve uygulamayla üretmeyi seçmiştir (Watkins-Baker, 2010, s.19).

Henri Cros'un, pate de verre tekniğinin modern tanımını oluşturan ve tam olarak yeniden keşfeden sanatçılardan ilki olduğu söylenebilir. Seramik ve balmumuyla yıllarca çalışmış ve Sevres Porselen Fabrikasında çalışırken camla uygulama yapmaya başlamıştır. Birçok denemeden sonra başarıya ulaşmıştır; (nemlendirilmiş cam tozu ya da tanelerini bağlayıcıyla bir çeşit cam macunu oluşturmak üzere tanecikleri refrakter kalıplara doldurulması ve ardından birleştirilmesi) (Watkins-Baker, 2010, s.20). Amerika'da 20.yy' ın ilk yarısında fırında şekillendirme tekniklerinin uygulanmasında öncü isimler Edris Eckhart, Maurice Heaton, Michael ve Francis Higgins'dir. Higginsler (Görsel 1.5) özellikle şu an uygulanan füzyon ve çökertme tekniklerinin geliştirilmesinde etkili olmuştur (Walker, 2010, s.10).

Harvey Littleton önderliğindeki Stüdyo Cam Hareketi, genel olarak üfleme cam üzerinde yoğunlaşsa da sadece Amerika da değil diğer ülkelerde de camla çalışmanın saygı duyulan yeni bir ifade aracı olmasında etkili olmuştur. Ayrıca hareketin diğer cam

tekniklerinin kullanımı ve yaygınlaşmasında katkı sağladığı da söylenebilir (Walker,2002, s.3).



Görsel 1.5. *'Kap ve kalıp' Frances ve Michael Higgings Fırında Şekillendirilmiş Plaka Cam, 1948*
(The Corning Museum of Glass, NY koleksiyon)

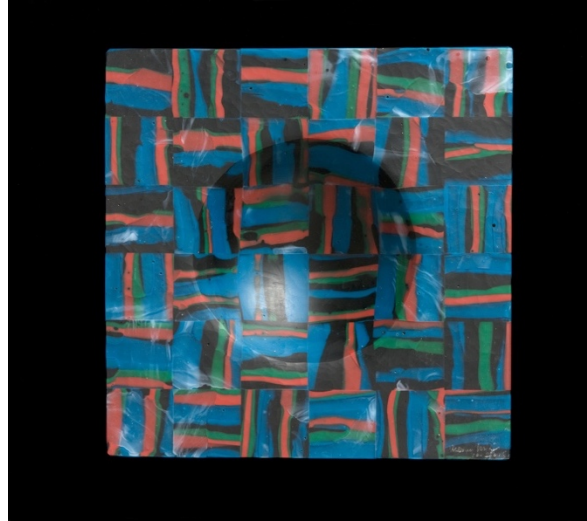
Fırında kullanılmak üzere özel olarak üretilmiş camın varlığı, olanakları araştıran, geliştiren hareket, yeni nesil cam sanatçılarının doğmasına zemin hazırlamıştır. Bunlar arasındaki önemli isimlerden biri de Klaus Moje'dir. Moje, 1979'da, Seattle'ın hemen dışındaki şimdi ünlü olan Pilchuck Cam Okulu'nda bir atölyede çalışıyordu. Öğrencileri arasında Bullseye Glass Company'nin kurucu ortaklarından Boyce Lundstrom'du o sıralar öncelikli olarak vitray cam endüstrisi için cam ürettiyordu. Lundstrom, Bullseye fabrikasını görmek ve ortağı Dan Schworer ile tanışmak için Portland'a Moje'yi davet etti (http-4). Moje, 1970'lerin ortalarından beri, düğme endüstrisi için üretilmiş olan Alman camlarını kullanarak fırında cam şekillendirme teknikleri üzerine çalışıyordu. Bu camların birlikte tekrar fırınlanması uygun olmamıştır ve sonuç olarak, yüzey üzerinde uyumsuzluk nedeni ile birçok farklı problem oluşmuştur. Sanatçının yöntemlerinden esinlenen ve kullandığı malzemelerin sınırlılıklarını gören Bullseye firması, Moje'ye, sorunlarını çözecek uyumlu camları üretecekleri konusunda söz vermiş ve 1981'de, fırında çalışmak üzere özel olarak formüle edilmiş olan uyumlu cam üretilmiştir (http-4).

Bullseye dikkatli formülleme ve dokümantasyon ile uyumluluğu belirlemek için endüstri standardı olan basit bir testi geliştirmeyi başarmıştır. Bullseye'nin başarısının

anahtarı, uyumluluğu; camların hem genişleme hem de viskozitesini ayarlayarak elde etmeleri olmuştur. Başka bir deyişle, diğer firmalar farklı camların genişmelerini birbirine uydurmaya odaklanmışken, Bullseye'daki öncüler, tam olarak aynı genişmeye sahip camların (termal genişlemenin doğrusal katsayısı) birbirine tam olarak uymayabileceklerinin ve yalnızca genişleme ve viskozite arasındaki farklılıkları dengeleyen camları geliştirerek birbirine uyan camlar yapılabildiğinin farkına varmıştır (http-4).

Bullseye, özellikle füzyonda kullanım için ilk olarak özel olarak üretilmiş 'test edilmiş uyumlu camı' geliştirdikten sonra Uroboros ve Spectrum gibi diğer üreticiler de cam sanatçılarının kullanımı için seçenekler ve renk paletlerini genişletmiştir (Walker, 2010, s. 8).

Klaus Moje, test edilmiş uyumlu camı geliştirmek için Bullseye ile çalışmasının yanı sıra eski İskenderiye ve Roma lüks cam konseptini yani mozaik tekniğini alıp hem formu hem de tekniği güncelleyerek füzyon ve çökertme tekniklerinin Avrupa ve Avustralya'ya yayılmasında etkili olmuştur (Walker, 2010, s.8) (Görsel 1.6).



Görsel 1.6. Klaus Moje- (isimsiz), 2016

(<https://www.bullseyeprojects.com/artists/289-klaus-moje/works/4846/>) (Erişim Tarihi:03.04.18)

Amerikalı sanatçı Toots Zynsky'de (Görsel 1.7) Moje gibi antik dönem füzyon ve çökertme tekniklerini yeniden yorumlamıştır. Zynsky, Moje tarafından uygulanan mozaik tekniğini tam olarak kullanmak yerine, yüzlerce ince ve parlak renkli cam

ubukları füzyon tekniği ile kaynaştırıp ardından çökertme tekniğini uygulamıştır (Hemp, 1995, s.87).



Görsel 1.7. *Melograno*, 2012, 24 x 44.5 x 27.5 , Toots Zynsky
(<https://www.tootszynsky.com/selected-works/view/539641/1/539660>)
(Erişim tarihi: 03.05.18)

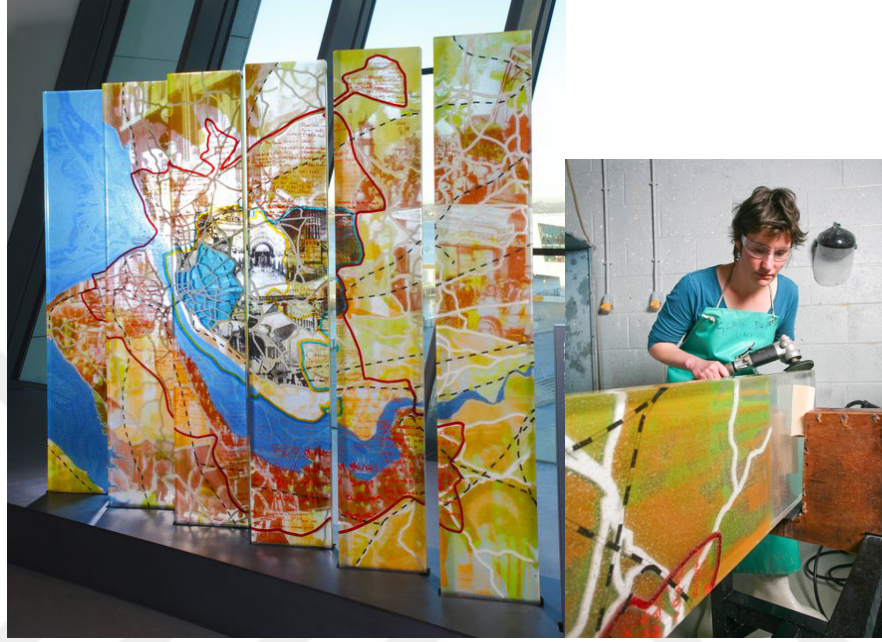
Fırında cam heykel formları ve nesneler üretmek için Birleşik Krallık'ta yaşayan Jacqueline Cooley, (Görsel 1.8) füzyon ve çökertme tekniğini su jeti kesim teknolojisini de kullanarak, birbirine kenetlenen şekillerde karmaşık desenler örmüştür (Cutler, 2012, s. 48).



Görsel 1.8. *Jaqueline Cooley, 'Leaf Bowl' Bullseye cam, Füzyon-kertme* (50 x 10 cm)
(<http://jaquelinecooley.com/studio.html#>) (Erişi Traihi: 03.05.18)

Jeffrey Sarmiento ve Inge Panneels, bu iki sanatçı da su jeti olanaklarından yararlanarak camda farklı efektler yaratmaktadırlar. (Görsel 1.9) Liverpool Haritası (6

kolon ve herbiri 17 katman camdan oluşmuştur), teknolojiyi serigrafi ve füzyon tekniği ile birleştirerek oluşturulmuş bir örnektir. Parça, çoklu katmanların biraraya gelmesi ile oluşmuştur. Karmaşık formlar kesilmiş boşluklarla birleştirilmiş yani füzyon olmuştur, böylece cam tek bir tabaka haline gelmiştir (Cutler, 2012, s. 40).



Görsel 1.9. Inge Panneels ve Jeffrey Sarmiento, 'Liverpool Map', 2010
225 x 33 x 5 cm (Cutler, 2012, s. 40)

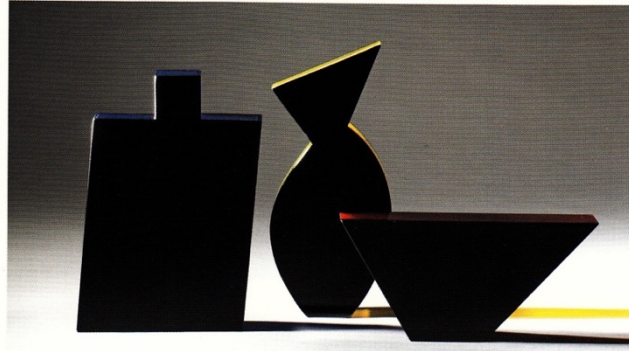
Jeremy Lepisto'nun (Görsel 1.10) karmaşık çok katmanlı görüntüleri, şekillendirilen ve pişirilen katmanların eritilerek birleştirilmesi yani füzyon olması sonucunda tek bir forma dönüştüğü yapılardır. Hem görüntünün hem de cam tabakasının dış görünümünün bozulmasını önlemek için pişirim çok dikkatli bir biçimde yapılır. Bu aşamada, muntazam bir sıcaklık kontrolü ve istiflenmiş cam tabakalarının dıştan seramik çubuklarla desteklenmesi gerekir (Cummings, 2011, s.95)



Görsel 1.10. Jeremy Lepisto
(Cummings, 2011s. 95)

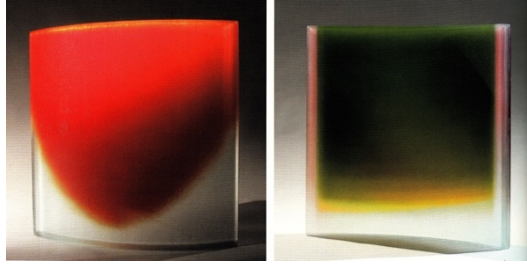
Çalışmalarında çok katmanlı füzyon uygulamalarını tercih eden bir başka sanatçı Jane Bruce'dur.

Jane Bruce'un (Görsel-1.11) cam heykelleri, esin kaynaklarını nesnelerin dış hatlarının ya da başka bir ifadeyle profillerinin yanı sıra nesnenin gerçek görüntüsünün ve yapısının araştırıldığı el çizimlerinden alır. Kesim, füzyon ve parlatma süreçlerindeki her detaya özen gösterilmesi, eserin son halinin son derece etkili olmasını sağlar (Cummings,2011, s. 114).

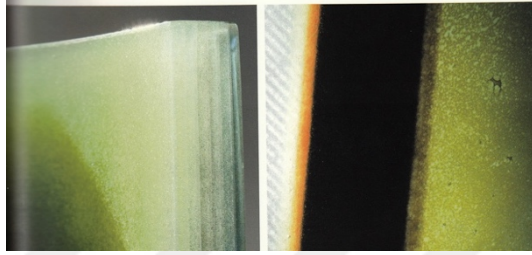


Görsel 1.11. Black Vase, Bottle, Bowl serilerinden bir bölüm -Jane Bruce
(Cummings, 2011, s. 11)

Udo Zembok (Görsel-1.12, Görsel 1.13) eserlerini boya ve çeşitli oksitlerin cam katmanlarının arasında füzyon yapılması ile oluşturmuştur. Boya katmanlarının yüzeylere dağılımındaki çeşitlilik ve yoğunluk rengin bazı alanlarda daha güçlü ve keskin olmasının yanında, bazen de daha yumuşak renk geçişleri yaratmıştır (Cummings, 2011, s. 118).



Görsel 1.12. *Colourfields 8, 22- Udo Zembok (Cummings, 2011, s.118)*



Görsel 1.13. *Colourfields (detay)- Udo Zembok (Cummings, 2011, s.119)*

Yaklaşık iki yüzyıllık yeniden keşif ve geliştirme sonrasında fırında cam şekillendirme tekniklerinden biri olan füzyon tekniği sanat yapımcılar için alternatif bir ifade aracı olarak gelişmeye devam etmektedir. Tekniğin yaygınlaşmasında; kitapların ve internetteki bilgilerin artması, fırınların otomatik denetleyicilerinin yaygın bir şekilde kullanılması ve buna ek olarak daha iyi materyellerin mevcudiyeti ve yeni teknolojilerin kullanımının önemli katkısı olmuş ayrıca, tüm bu değişiklikler sanatçıların olanaklarını büyük ölçüde genişletmiştir.

İKİNCİ BÖLÜM

2. FÜZYON TEKNİĞİNİN GENEL PRENSİPLERİ VE UYGULAMA TÜRLERİ

Füzyon tekniği uygulamalarına geçmeden önce tüm uygulamalarda göz önünde bulundurulması gereken ortak prensiplere bakmak gerekir. Bu prensipler; belirli teknik sınırlılıklardan, camın ısı karşısındaki davranış özelliklerinin ve ısı işlem evrelerinin bilinmesine kadar uzanan bir süreci kapsar. Tüm bu süreçler için ortaya konan prensiplerin her biri kendi içerisinde pek çok değişkene bağlı olarak, öngörülemeyen sonuçlarla karşılaşılma olasılığı barındırmaktadır. Ancak bu prensiplerin aynı zamanda da füzyon tekniği uygulamalarından olumlu sonuç alınmasındaki en temel belirleyiciler olduğu unutulmamalıdır. Bu bağlamda temel prensipler araştırmada üç başlık altında ele alınmıştır; Uyumluluk, tavlama ve gerilim sıcaklığı, ısı işlem evreleri ve değişkenler.

2.1. Uyumluluk

Füzyon Tekniği uygulamalarına başlanıldığında anlaşılması gereken ilk konu ‘uyumluluktur’ ve kullanılan camların birbirine uyumlu olması şarttır. Uyumluluk kavramı iki ya da daha fazla camın ısı işlem uygulandığında birbirine karşı verdikleri tepkiye dayanmaktadır. Isıl işlem sonucunda camlarda, parçaların birbirinden ayrılmasına neden olabilen iç tansiyon ya da başka bir ifadeyle gerilim yoksa uyumludurlar, varsa bu durum camda çatlama ve kırılmayla sonuçlanır ve kullanılan camlar uyumsuz olarak tanımlanır. Genel olarak uyumluluk tespiti ısı işlem uygulanmadan, genleşme katsayısı ile de kontrol edilebilir. Ancak bu tespit kendi başına yeterli değildir (Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s. 58).

Cam uyumluluğu, iki cam türü aynı genleşme katsayısına sahipse, diğer bir deyişle eşzamanlı olarak genleşir ve aynı anda büzülürlerse uyumlu kabul edilir. Ancak eşleşen genleşme katsayıları, uyumluluğun tek ölçüsü değildir. Bir camın viskozite özellikleri, genleşme özellikleri kadar eşit derecede önemlidir. Bu iki özellik, farklı camların birbirine uygunluğunu belirler (Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s. 58). Dolayısıyla Füzyon Tekniğinde uyumluluk tespiti için bu iki kriterin bilinmesi büyük önem taşır.

2.1.1. Genleşme katsayısı (coefficient of expansion)

Genleşme katsayısı, sıcaklığa bağlı olarak camdaki genleşme ve büzülme yüzdesini ifade eden sayıdır. Her sıcaklık artışı için camın boyutsal değişimi ile belirlenir. Genleşme katsayısı ne kadar büyük olursa, cam da o kadar çok genişler. Bu katsayı, laboratuvar testleri veya matematiksel hesaplamalarla belirlenir. Bir camın genleşmesi ortak bir laboratuvar testi (dilatometre kullanarak) belirli sıcaklık aralığında ölçülür. Testler, 0 ile 300 ° C arasındaki sıcaklıklarda genleşmeyi hesaplamaya olanak verir. Ne yazık ki, kullanılan herhangi bir teknikte yüksek sıcaklıkta ölçüm yapılamamaktadır. Matematiksel hesaplama ile elde edilen genleşme katsayısı ölçümleri cam formülüne dayanır; ancak malzemenin değişimi, füzyon ya da renklendirmedeki oksit yüzdeleri gibi değişkenleri hesaba katmaz (Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s. 50).

Çoğu camın genleşme katsayısı, 3 ila 10×10^{-6} aralığındadır. Bu birim, fiilen veya kısmen ölçülebilir ya da camın oksit kompozisyonundan sınırlı parametrelerle hesaplanabilir (Bray, 2001, s.113). Bu bağlamda genleşme katsayısı özellikle birden fazla camın kullanıldığı uygulamalarda uyumluluk denetiminde kullanılabilecek ilk verilerden biri olarak kabul edilir.

2.1.2. Viskozite

Viskozite, akışkan maddelere, özellikle sıvılara özgü bir niteliklerdir. Sıvı moleküllerinin harekete karşı gösterdiği dirençtir. Bu özellik sıcaklıkla doğrudan ilgilidir ve sıcaklık ile değişir. Genel olarak sıvılardaki viskozite, sıcaklıkları düştükçe artmaktadır. Dolayısıyla, yani cam soğukken sıcaklığı arttırılmaya başlanırsa, viskozitesi azalır; yani moleküller daha fazla hareket ederler ve yer değiştirirler. Oda sıcaklığında, moleküller hareketlerini kaybederler ve bundan dolayı kristalimsi bir katı madde elde etmek için doğru yönü hiçbir zaman bulamazlar. ‘Aşırı soğutulmuş bir sıvının’ amorf yapısını korurlar (Beveridge, Domenech ve Pascual, 2005: 58).

Camlar sabit erime noktalarına sahip olmadıklarından kristalimsi katı maddelerden ayrılırlar. Bu fark, düzenli kristal yapıda atomları bir arada tutan kimyasal bağların özdeş olmasıyla açıklanmaktadır. Kristal katılar ısıtıldığında, tüm bağlar aynı sıcaklıkta kopar erime noktası denilen bu sıcaklığın altında madde; katıdır, erime noktasının üzerinde ise sıvıdır (<http-5>).

Buna karşın, camdaki bağlar daha güçlüdür. Bir cam ısıtıldığında, bu bağlar belirli ısı aralığında kopar. Sonuç olarak, bir cam ısıtıldığında yavaş yavaş yumuşar. Viskozite açısından sıcaklıkla camın davranışını tanımlamakta fayda vardır.

Sert ve çalışması zor bir camın, yüksek viskoziteye sahip olduğu söylenirken, kolayca akan ve çok sıvı olan bir camın düşük viskoziteye sahip olduğu söylenir. Bir camın viskozitesi genellikle sıcaklıktan etkilenir. Erime sıcaklığını yükseltmek viskoziteyi azaltmak anlamına gelecektir. Camların şekillendirme sıcaklıkları göz önüne alındığında genellikle çalışma sıcaklığında viskozite değeri 10^4 –poise'dir. Tavlama noktasında ise bu değer 10^{13} poise olarak belirtilmektedir (http-6).

Bir camın belirli bir sıcaklıkta viskozitesi, camın bileşimine bağlıdır ve bu, belirli bir amaç için tasarlanan cam için geniş kullanım olanakları sağlar. Örneğin, erimiş silika yüksek sıcaklıkta eritilir, termal şoka karşı mükemmel dirence sahiptir, ancak yüksek erime noktası nedeniyle elle işlenemez. Aksine, kurşun camı yüksek yoğunluklu olma eğilimi gösterir, nispeten düşük sıcaklıklarda elle kolayca işlenebilir. Sonuç olarak, camların viskozitesi sıcaklığa bağlıdır ve bileşimden büyük ölçüde etkilenir (Bray, 2001, s.236).

Genleşme katsayısı, ısıtılma işlem programının ilk bölümünde, oda sıcaklığından gerilme noktasına kadar olan uyumluluğu etkileyen ana faktördür. Viskozite ise gerilme noktasından tavlama noktasına kadar olan uyumluluğu etkiler. Bu nedenle, viskozitedeki farklılıklar uyumluluğu etkiler çünkü bir cam türü diğerinden daha az akışkan olabilir ve tavlama safhasında aralarında gerilim oluşabilir (Beveridge, Domenech ve Pascual, 2005: 59).

Aslında, genel anlamda uyumluluk, bu değişkenlerin birbirini denkleştirerek birleşmesidir. Farklı viskozitelere sahip cam türlerinin uyumlu olması için, genleşme katsayılarının farklı olması gerekir. Viskozite değişiklikleri tarafından meydana gelen gerilimlerle, genleşme değişiklikleri tarafından oluşan gerilimler dengelenirse, iki farklı cam türü uyumlu olacaktır. Başka bir deyişle, farklı viskoziteler ve genleşmeler nedeniyle oluşan gerginlik, iki cam türü arasında da aynı değere sahipse, iki gerilme birbirini yok eder. Bu durum farklı değişkenlerin farklı cam çeşitleri ile uyumlu olduğunu açıklıyor (Beveridge, Domenech ve Pascual, 2005: 59).

Genleşme, tavlama noktasından oda sıcaklığına kadar tüm sıcaklık aralığı boyunca uyumluluğu etkiler. Bunun nedeni, doğası gereği, çoğu maddenin ısıtıldığında genleşmesi soğuduğunda da daralmasıdır. Genellikle, benzer şekilde birlikte genişleyip

ve daralıp kaynaştırıldıklarında birbirlerine "uyacakları" veya uyumlu olacağı varsayılır (http-7).

2.2. Tavlama ve Gerilim noktası

Bir cam parçası yumuşak yani plastik gibi veya ergimiş hale kadar ısıtılıp ardından doğal olarak katı hale belirli bir sıcaklık aralığında geçmesine izin verilirse, dış yüzeyler merkezden daha hızlı soğur ve bu büzüşme kalıcı gerilim oluşturur (Bray,2001, s. 27).

Halem'e (1996, s. 16) göre tavlama, camda oluşan gerilimleri engellemek için gereken belirli zaman ve sıcaklıktır. Gerilim ise basitçe belirtmek gerekirse, camın sıvı halden oda sıcaklığına kadar soğutulduğunda oluşur. Gerilim cam soğudukça ve daraldıkça oluşur. Gerilim ayrıca camların üretim sürecinde de meydana gelebilir. Fakat gerilimlerin çoğu, camın tavlama sıcaklığından gerilim noktasına kadar soğutulma evresinde oluşur.

Tavlama işlemi bu oluşan gerilimin kabul edilebilir sınırlara indirilmesi için önemlidir. Tavlama işlemi yapılmazsa, camın çatlaması beklenen bir durumdur ve bu muhtemelen birkaç gün içinde gerçekleşir, ancak yıllar sonra ortaya çıkması da oldukça yaygındır. Bu nedenle tavlama, camın türü ve kalınlığına göre yeterli sürede olması önemlidir.

Cam, tavlama noktası olarak tanımlanan sıcaklığa kadar camın kalınlığına, yapısına, genleşme katsayısına, yüzey miktarına bağlı olarak yeterli süre boyunca soğutulur ve oluşan gerilim azaltılır (Bray,2001, s. 27). Genellikle en uygun tavlama sıcaklığı, ancak her zaman değil, "camın yumuşama noktasının 10 °C altındadır. Bu sıcaklık *high-end*- yüksek uç olarak adlandırılır. *Low end* - alt uç ise gerilim noktasıdır. Cam, gerilim noktasının altında tavlanamaz (Halem, 1996, s. 16). Camın tavlanması ve soğutulması doğru yapılmadığı durumlarda oluşan gerilim camın çatlamasına, kırılmasına veya dağılmasına neden olur. Camın yumuşama veya gerilim noktasına yakın noktalarda, uzun süre bekletilmesi tavsiye edilmez. Camın bu sıcaklıklarda devitrifikasyon belirtileri gösterebilme ihtimali vardır. Tavlama gibi, soğutmada belirli bir oranda yapılmalıdır. Doğru yapılmazsa, camda tekrar gerilmeler oluşacaktır (Halem, 1996, s. 17).

Stone'a (1996, s. 22) göre genel olarak tavlama (annealing/ing.) camın türüne bağlıdır ve yaklaşık 440 ° ila 575 ° C arasındadır. Camın ısıtım evrelerinin en önemli

aşamasıdır. Tavlama işlemi sırasında, camdaki gerilmeler, camın tüm alanı yeterince uzun süre aynı sıcaklıkta tutulduğunda veya yeterince yavaş soğutulduğunda dağılır. Bu nedenle, bu sıcaklıkta bekleme süresi camın kalınlığı ile artar. Örneğin, 3 mm'lik camın sadece 5 dakikalık bir tavlama süresine ihtiyacı varken, 25 mm cam için (sadece bir taraftan ısıtıldığında) yaklaşık 2 saat tavlama süresi gerektirir. Bir camın tavlama sıcaklığı bilinmediği takdirde, iki veya daha fazla kez, 530°C'de ve tekrar 500°C'de bekletilebilir. Aşağıdaki Tablo 2.1- bazı camların tavlama ve gerilim aralıklarını göstermektedir.

Tablo 2.1. *Bazı Camların Tavlama ve Gerilim Aralıkları (Stone, 1996, s.28,29)*

	Pencere camı	Borosilikat	Bullseye	Spectrum	Uroborus
Tavlama aralığı	470-540°C	560-570°C	470-530°C	505-518°C	525°C
Gerilim aralığı	505-525°C	510-535°C	435-495°C	467-478°C	460-500°C

Cam tek bir tavlama sıcaklığından ziyade tavlama aralığına (geçiş aralığı olarak da bilinir) sahiptir. Tavlama, bu aralığın üst noktasından, alt noktasına göre daha hızlı gerçekleşir. Çünkü cam daha fazla sıvı olduğundan dolayı moleküler hareketleri daha serbesttir. Bununla birlikte, cam daha sonra gerilim noktasından (strain point/ing.) itibaren (camın sıvıdan katıya geçtiği nokta) çok hızlı bir şekilde soğutulduğunda da kalıcı stresin yeniden ortaya çıktığı unutulmamalıdır (Stone, 1996, s.22). Camlarda “Kalıcı” gerilim, gerilim noktasının üstünde soğutulursa oluşur çünkü; cam iç ısını dış yüzeyde olduğu kadar çabuk salıveremez. Tavlamanın amacı, oluşan gerilimin çoğunu hafifletmektir. Cam sertleşmeye başladıkça camın yapısal düzeni yeniden tavlama aralığında gerçekleşir (Stone, 1996, s.166). Bu yeniden düzenlemenin hızı, viskozite tarafından yönetilir ve cam soğudukça yavaş yavaş gerçekleşir. Tavlama genellikle viskozitenin yeterince düşük olduğu sıcaklıkta yeteri kadar tutulmasını içerir. Kaynaklarda yer alan bir kurala göre ise camın tavllanması için gereken süre cam kalınlığının karesi olarak değişmektedir (Stone, 1996, s.166).

Tavlama, bazen tavlama noktasında birkaç dakika içinde gerçekleşebilirken, bazen gerilim noktası olarak adlandırılan düşük tavlama sıcaklığında birkaç saat sürebilir. Çoğu cam için az miktarda artakalan stres normaldir, ancak özellikle optik cam için en aza indirgenmesi gerekmektedir. Bu işlem büyük astronomik teleskoplar

için üretilen farklı kalınlıklardaki optik camlarda birkaç aylık işlem gerektirebileceği anlamına gelir (Bray, 2001, s. 27).

İç gerilimler, tavlama noktasında en etkin şekilde giderilirken, daha yavaş olsa da, cam tavlama aralığı içinde bekletildiğinde de giderilebilir. Tipik bir soda-kireç-silika camında bu aralık; 480 °C ile 550° C arasındayken kurşun camı için 390 ° ila 450 ° C arasında değişir. Uygulamada tavlama aralığında yapılan işlemlerde camın büyüklüğü ve şekli nedeniyle kendi tavlama noktasının sadece biraz üstündeki bir sıcaklıkta deforme olabileceği için daha düşük sıcaklıkta çok daha uzun bekleme avantaj sağlar. (Bray, 2001, s. 27). Gerilim noktası, tavlama aralığının alt ucunu temsil eder ve genellikle tavlama sıcaklığının 35-40 ° C altındadır (Stone,1996, s. 23).

Tavlama süreleri kalınlık esaslı programlarda minimum alınmalıdır. Daha uzun tavlama süresinde, cam sıcaklıklarının ve farklı camların sıcaklık / viskozite oranındaki farklılıkların eşitlenmesi sağlanır. Ayrıca uzun süreli tavlama, tavlama sıcaklıklarının ve pirometre ölçümlerindeki yanlışlıkların telafi edilmesine de yardımcı olur. Kural olarak tavlama aralığının içinde tavlamanın sıcaklığı ne kadar düşük olursa, o kadar uzun sürer. (Stone,1996, s.28).

Tavlama sıcaklıkları, genleşme katsayıları ile doğrudan ilişkili olmasa da önemli ölçüde farklılaşabilir. İki cam aynı genleşme katsayısına sahip ve uyumlu olabilir, ancak yaklaşık 50 ° C'ye varan sıcaklık farkı ile tavlanabilir. Bu şekilde olan camları tavlamak için iki yaklaşım vardır:

1. İkisi arasındaki bir sıcaklıkta, daha uzun sürede tavlama yapmak.
2. Her iki sıcaklıkta da tavlama yapmak (özellikle cam kalın ise daha güvenli olacaktır).

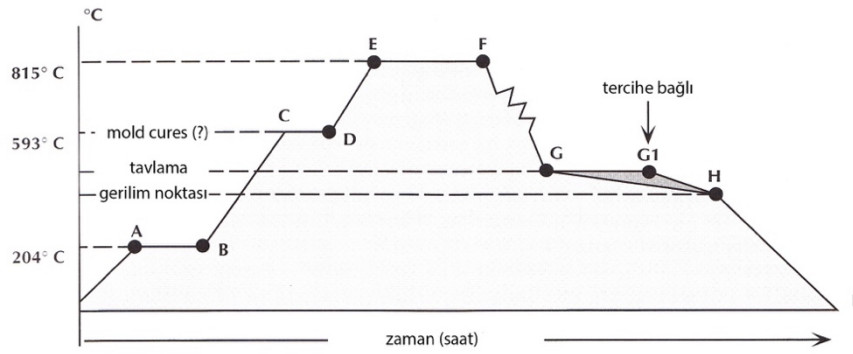
Farklı camlarla tek ısı işlem için ikinci yaklaşım daha uygundur (Stone, 1996, s. 28). Camda stresin giderildiği herhangi bir noktadan ziyade bir tavlama aralığına sahip olduğunu unutulmamalıdır.

Tavlama sıcaklığının nasıl belirleneceği "Glass Notes" (Halem,1996, s.19) adlı kitapta 'cam çubuk testi' ile gösterilmiştir; bu test için cam çubukların boyutları yaklaşık 46 cm uzunluğunda ve bir kalemin kalınlığında olmalıdır. Tavlama sıcaklığının veya tavlama noktasının 565° C olduğu varsayılmıştır. İşlem basamakları şöyledir;

1. Fırını varsayılan 565° C tavlama sıcaklığına getirilerek bu sıcaklıkta birkaç saat bekletilir.

2. Çubuk fırının köşesine 45°'lik bir açıda yerleştirilip, bir saat sonra kontrol edilir.

Bu işlem sonucunda eğer çubuk bükülmüşse, fırın çok sıcaktır ve sıcaklık yaklaşık 27 °C düşürülmelidir ve birkaç saat boyunca bekletilmelidir. Testi tekrarlarlarken daima yeni bir cam kullanılmalı ve 2. adımda yazıldığı gibi konumlandırılmalıdır. Eğer çubuk bir saat sonra bükmeye devam ederse, tekrar sıcaklığı azaltarak aynı işlem tekrar edilmelidir. Eğer çubukta bir saat sonra bükülme olmamış ve 4 saat sonra hafifçe bükülmüşse, tavlama sıcaklığına ulaşılmıştır. Eğer çubuk 1 saat sonra ve ek 4 saat sonra bükülmezse, fırın çok soğuktur. Sıcaklık 11°-17°C yükseltilmeli ve birkaç saat bekletilmelidir. Yukarıdaki B sonucunu elde edene kadar tekrarlanmalıdır. Her fırın için bu çubuk testinin tekrarlanması önemlidir (Halem, 1996, s. 19).



Görsel 2.1. Libensky Tavlama Metodu
(Halem, 1996, s. 22)

Tavlama yöntemi konusunda farklı tercihler bulunmaktadır. Bunlardan biri Stanislav Libensky'nin tavlama yöntemidir. Libensky; camın yüksek uçlu (high-end) tavlama noktasından (G) gerilim noktasına (H) kadar soğutulduğunda gerilimin giderileceğini varsayar. Bu yöntemin arkasındaki teori; uygun tavlama, tavlama aralığındaki herhangi bir noktada yavaş bir şekilde soğutulduğunda gerçekleşebileceğidir. Bu yöntemi kullanmak için yüksek uç-(high end) tavlama sıcaklığının yanı sıra gerilme noktasını bilmek gerekir ancak bilinmiyorsa da cam sanatçıların kullandığı herhangi bir camın gerilme noktası olan 370°C olduğu varsayılabilir (Halem, 1996, s. 23).

Aşağıda Tablo 2.2'deki tavlama / soğutma metodu, Prof. Libensky tarafından Henry Halem'e verilmiştir. Amerikalı, döküm tekniği ile çalışan cam sanatçıları

genellikle bu yöntemi kullanmasalar da, genellikle belirli bir süre (G-G1) aralığında tavlama işlemini yaparak daha sonra camı (G1-H) aralığında uygun süre boyunca soğuturlar. Üfleli ürünler için standart, 6 mm kalınlık için 1 saat tavlama uygundur. Kalınlığı 7,6 cm'nin üzerinde olan döküm çalışmalar için Harlem, Libensky tavlama / soğutma metodunu uygulamadan önce birkaç saat boyunca bekletme yapmaktadır. Grafikte G1 noktası; Bu rotaya takip etmek isteyenler için belirtilmiştir. Bu grafikte gösterilen E ve F noktaları, teorik olan döküm sıcaklığıdır. Bu sıcaklık, 'çalışma sıcaklığına' göre belirlenmelidir. Bu tabloyu kullanmak için, E, G ve H noktaları için kendi camınızın sıcaklıkları girilmelidir: A, B, C ve D, kalıbın düzgün bir şekilde kurutulması içindir ve kullandığınız camdan bağımsız olarak doğrudur. Kalıplar düzgün bir şekilde yapılmışsa ve ısıtıl işleminden önce havalandırılmışsa, en az miktarda kalıp çatlağı gerçekleşecektir. Islak kalıplarda çalışmak gerekiyorsa da, bunları fırında 100 °C' de bir gece kurutmadan sonra Libensky uygulamasına geçilir (Halem, 1996, s. 23).

Tablo 2.2. *Libensky Tavlama/Soğutma Metodu (Halem, 1996, s. 23)*

		A	B	C	D	E	F	G	H	I
°C	15°	200°	200°	600°	600°	800-850° 820°	800-850° 820°	510° Tavlama	370° Gerilim noktası	50- 100°
2.5-3.8 cm	0	3 saat	4 saat	4 saat	4 saat	1 Saat	1.5 saat	...	12 saat	12 saat
5-6.3 cm	0	4 saat	4 saat	4 saat	4 saat	1 Saat	2 saat	...	24 saat	24 saat
10cm	0	4 saat	4 saat	6 saat	6 saat	1.5 saat	2 saat	8 saat	48 saat	48 saat
15cm	0	8 saat	8 saat	8 saat	8 saat	1.5 Saat	2 saat	10 saat	96 saat	96 saat
20cm	0	8 saat	12 saat	8 saat	8 saat	2 Saat	3 saat	12 saat	190 saat	190 saat

Klaus Moje' nin tekniğinde uyguladığı tavlama işlemi ise şu şekildedir. (Sanatçı çalışmalarında Bullseye firmasının füzyon tekniği için üretmiş uyumlu camları kullanmaktadır.) Füzyon ya da çökertme işlemlerinden sonra eğer cam 9.5 mm (Klaus Moje'nin bir çalışmasının kalınlığı için verilmiştir) civarlarındaysa sıcaklığı 525 °C'de 1,5 saat bekletilmelidir. Ardından 490 °C'ye indirilmeli ve 15 dk bekletilmelidir.

Kullanılan fırın sıcaklığı iyi tutarsa 204 °C'ye inmek en az 8 saat sürmektedir. 490 °C, Bullseye camının gerilim noktasıdır (Halem, 1996, s. 81).

Kalın plakalar için tavlama tablosu (Tablo 2.3), Bullseye'in şeffaf cam ile kullanımı için formüle edilmiştir. McLellan ve Shand'ın yönteminden kaynak alınmıştır. Yukarıdan ve aşağıdan eşit derecede soğutabilecek bir fırında eşit kalınlıkta düz bir plaka cam kullanımı temel alınmıştır. Cam parçası, eşit olarak soğuyabilecek şekilde kurgulanamıyorsa veya eşit kalınlıkta düz bir plaka değilse, parçanın en kalın alanının iki katı olan bir parça için tavlama önerisi seçilmelidir. Fırının eşit şekilde soğumaması durumunda, çok iyi ayarlanmış bir tavlama programı bile işe yaramayabilir (http-8).

Tablo 2.3. Bullseye Kalınlık Esaslı Tavlama Tablosu
(https://www.bullseyeglass.com/images/stories/bullseye/PDF/TechNotes/technotes_07.pdf (Erişim Tarihi:16.10.18))

Kalınlık mm	Tavlama Süresi 482 °C	İlk soğutma oranı °C/saat	İlk soğutma aralığı °C	İkinci soğutma oranı °C/saat	İkinci soğutma aralığı °C	Son soğutma oranı °C/saat	Son soğutma aralığı °C	Minumum toplam süre saat
12mm	2 saat	55	482-427	99	427-371	330	371-21	5 saat
19mm	3 saat	25	482-427	45	427-371	150	371-21	9 saat
25mm	4 saat	15	482-427	27	427-371	90	371-21	14 saat
38mm	6 saat	6.7	482-427	12	427-371	40	371-21	28 saat
50mm	8 saat	3.8	482-427	6.8	427-371	22	371-21	47 saat
62mm	10 saat	2.4	482-427	4.3	427-371	14.4	371-21	70 saat
75mm	12 saat	1.7	482-427	3.1	427-371	10	371-21	99 saat
100mm	16 saat	0.94	482-427	1.7	427-371	5.6	371-21	170 saat
150mm	24 saat	0.42	482-427	0.76	427-371	2.5	371-21	375 saat
200mm	32 saat	0.23	482-427	0.42	427-371	1.4	371-21	654 saat

2.3. Füzyon Tekniğindeki Isıl İşlem Evreleri ve Değişkenler

Tüm fırın programları, genel olarak ısıtma ve ardından soğutma olmak üzere iki temel işlev üzerine kurgulanır. Bütün bu süreç, sıcaklığı arttırmak veya azaltmak suretiyle devam eder. Böylece, bir fırın programı iki parametrenin doğru kombinasyonunun sonucudur; sıcaklık ve zaman. Bunlardan biri doğru değilse, sadece

bu aşama değil, tüm döngü de başarısız olur (Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s. 62).

Camla çalışmak için, cam türlerini ve ısıtım evrelerini anlamak gerekir. Camın temel sınırlamalarını anlamak, fırında başarılı çalışma şansını artırır. Her yeni teknik veya durumla birlikte, başlangıçta yüksek başarısızlık oranı normaldir. Isıtım evrelerini takip etmek ve herhangi bir aksilik olduğu noktayı bilmek, gelecekteki hataların önlenmesinde bir ipucudur. Doğru bir fırın programının iki temel amacı vardır; Cam gövdeyi, seçilen yöntem ile istenilen biçimi oluşturulabilecek bir sıcaklığa getirmek ve camı oda sıcaklığına sağlam bir şekilde geri getirmek yani, istenmeyen iç gerilimlerden arındırmak.

Bir fırın programı oluşturmak için ısıtım evrelerini bilmek gerekir. Isıtım evreleri yapılacak çalışmanın niteliğine göre artırılabilirse de temelde minimum düzeyde dört evreden oluştuğu söylenebilir. Ön ısıtım, maksimum çalışma sıcaklığı evresi, tavlama evresi ve soğutma evresi. Çeşitli kaynaklar referans alındığında farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Ancak Bullseye firmasının önermiş olduğu ısıtım evrelerinin daha detaylı ve geniş ölçekte uygulamaya referans olabilecek nitelikte olması nedeniyle araştırmada bu kategorizasyon örnek alınmıştır. Buna göre 'Isıtım Evreleri' sekiz başlıkta incelenmektedir.

2.3.1. Ön ısıtım evresi (Oda sıcaklığı-538°C)

Fırın programının ilk aşamasıdır. Camın oda sıcaklığından gerilim noktasının biraz üstünde bir seviyeye kadar ısıtılmasını içerir. Bu aşamada, cam hala katıdır ve gerilim noktası aşıldıktan sonra kademeli olarak sıvılaşır (Stone, 1996, s.20). Bu evre aynı zamanda kurutma ve yabancı gazların yüzeyden uzaklaştırılması işlemlerinin de yapılabildiği bir süreçtir.

2.3.2. Hızlı ön ısıtım evresi (538° -677°C)

Camın belirli bir sıcaklıkta tutulduğu bu evre isteğe bağlı ancak yararlı olan bir aşamadır, hızlı sıcaklık yükselişinden önce cam gövde içindeki sıcaklığı eşitlemek, daha hızlı tırmanışa izin vermek ve bazı durumlarda katmanlar arasındaki havayı ya da iç boşluklardaki hava kalmasını engellemek için uygulanır. Ayrıca bazı özel türde camlar için örneğin; içinde altın bulunduran camın hedef rengini elde etmesi için 663°C sıcaklıkta önceden hızlı bir ısıtmaya ihtiyaç duyulmaktadır (http-5).

2.3.3. Hızlı ısıtma evresi (538°C-Maksimum çalışma sıcaklığı)

Bu evre; gerilim noktasından daha yüksek ve gerekli çalışma sıcaklığına kadar olan bir seviyede gerçekleştirilir. Çalışma sıcaklığı kullanılan tekniğe ve nesnenin gereksinimlerine bağlıdır. Bu evre hızlı bir şekilde gerçekleştirilmelidir. Bunun en önemli nedeni devitrifikasyondan (yüzey kristallenmesi) kaçınmaktır. Her cam türünün devitrifikasyon aralığı farklıdır, bu aralık ısıtma işlemleri sırasında çıkışta ve inişte yavaş geçilirse devitrifikasyonun etkisi artacaktır. Fırın programlarında bu evrede fırındaki hızlı sıcaklık artışı devitrifikasyon aralığından hızlıca geçmeyi sağlarken, cam yüzeylerinde oluşabilecek devitrifikasyonların minimumda kalmasına olanak verir. Bu aşamada, cam giderek daha akışkan hale gelir. İstenen çalışma sıcaklığına ulaşıldığında, cam kısa bir süre stabilize edilir (Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s. 63).

Bu sıcaklık aralığındaki birincil hedef, mümkün olduğunca hızlı bir şekilde cam yüzeyinde devitrifikasyon olmadan diğer evreye geçiş yapmaktır ancak çok hızlı olmamalıdır çünkü bu durum katmanlar arası hava kabarcıklarına da neden olabilir (http-5).

2.3.4. Maksimum çalışma sıcaklığı (538° -927°C)

Bu sıcaklık (çalışma sıcaklığı) camı şekillendirmek için öngörülen maksimum noktayı temsil eder. Camın viskozitesi, döngüdeki en düşük noktasında, yaklaşık 10^4 poise (camın fonksiyonu olarak değişen bir değer) civarındadır (Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s.63). Çökertme, yarı füzyon, tam füzyon veya kalıpla biçimlendirme gibi çeşitli uygulamaların yapıldığı sıcaklık aralıklarında çalışma sıcaklıkları değişse de bu evre şekillendirme sürecinin son aşaması olarak kabul edilebilir. Aynı etkiler ya da işlemler, daha düşük sıcaklıkta daha uzun bir sürede ya da daha kısa sürede ama yüksek sıcaklıkta da yapılabilir. Uygulama sıcaklığı ile uygulama süresi arasındaki bu etkileşim, ısıtma işleminin temelidir. Genelde, maksimum çalışma sıcaklığı devitrifikasyon aralığında olmadığı sürece daha düşük sıcaklıkta daha uzun süre bekleme ile daha fazla kontrol sağlanır (http-5).

2.3.5. Hızlı soğutma evresi (Maksimum çalışma sıcaklığı- 482 °C)

Isıtma tamamlandığında, soğutma evreleri başlar. Bu ilk hızlı soğutma evresinde cam, çalışma sıcaklığından tavlama noktasına doğru hızlı bir şekilde düşürülerek

soğutulur. Soğutma işlemi tavlama noktasına ulaşılan kadar, fırın kapağı kısa aralıklarla açılarak hızlı bir şekilde gerçekleştirilmelidir. Önceki aşamada olduğu gibi, devitrifikasyon aralığından hızlıca geçilir, bu nedenle sıcaklık düşüşü mümkün olduğunca hızlı olmalıdır (Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s. 62). Bullseye firması, bu sıcaklıklarda fırının havalandırma için açılmamasını tavsiye etmektedir. Havalandırma deliğinin açılması, cam gövdesi içinde sıcaklık farklılıkları oluşturabileceği için eşitliliğini geri kazandırmak için düşük bir sıcaklıkta bekleme süresini arttırmak gerekir. Fırını havalandırmak yerine fırında kendi kendine (fırın duvar yalıtımı ve fırın içindeki malzeme kütesine göre değişir) yaklaşık 482 ° C kadar soğutulması önerilmektedir (http-5).

2.3.6. Tavlama evresi (482 °C)

Tavlama yaklaşık 440 ° C ve 575 ° C arasında, cam türüne bağlı olarak gerçekleşir. Bullseye camlarının 482 ° C tavlama noktasıdır. Bu sıcaklıkta bekleme süresi, cam kalınlığına ve fırın tipine bağlıdır. Amaç camın gövdesi boyunca eşit sıcaklık elde etmektir. Bu evre camın ısıtma süreçlerinde en önemli evrelerden biridir. Tavlama esnasında, camdaki tüm bölümler, yeterli süre aynı sıcaklıkta sabit tutulduğunda veya yavaş yavaş soğutulduğunda, camdaki gerilim dağılır. Bu nedenle, bu sıcaklığın sabit tutulduğu süre cam kalınlığı ile birlikte artar. Örneğin 3 mm cam, yaklaşık 5 dakika tavlama gerektirirken, 25 mm cam sadece bir taraftan ısıtıldığında yaklaşık 2 saat gerektirir. Standart çizelgelerde gösterilen tavlama süreleri minimum olarak uygulanmalıdır (Stone, 1996, s.22).

2.3.7. Tavlama soğutma evresi (482°- 371°C)

Cam içindeki sıcaklık, bir önceki evre boyunca eşit hale geldiği için, tavlama aralığının geri kalan kısmı yavaş yavaş soğutulur. Amaç, cam gövde boyunca sıcaklık farkını kontrollü bir biçimde düşürmektir. Bu düşme hızı camın kalınlığına göre değişkenlik gösterir. Örneğin 40mm kalınlığındaki bir cam için; 482°–427°C ye kadar saatte 5°C ile 427°–371°C arasını saatte 11°C ile inecek şekilde bir soğutma uygulanır (http-5). Bu evre farklı cam türleri düşünüldüğünde camın tavlama noktası ve gerilim noktası arasındaki süreci kapsamaktadır. Başka bir ifadeyle tavlama işlemi camın tavlama noktasında başlayıp gerilim noktasına kadar olan süreçte gerçekleşir.

2.3.8. Oda sıcaklığına soğutma evresi (371°- Oda sıcaklığı)

Döngünün son evresidir, sıcaklık gerilim noktasından oda sıcaklığına düşer. Bu evrede cam termal şoka maruz bırakılmamalıdır. Sıcaklığın ve zamanın her zaman kullanılan cama bağlı olduğunu bilmek önemlidir. Gerilim, tavlama ve tavlama noktaları, camın bileşimine bağlı olarak büyük ölçüde değişecektir. Üreticiden bu değerleri içeren bir teknoloji bilgisi istenilmelidir (Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s. 65).

Camın miktarı ve kalınlığı, kullanılan teknik ve istenen sonuç ayrıca, ısıtma gücünün ve programlama olanaklarının türü de dahil olmak üzere fırının özelliklerini de göz önünde bulundurmak önemlidir. Bütün bu faktörler ısı dağılımını etkiler (Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s. 65).

Oda sıcaklığına soğutma evresi, termal şoka neden olmayacak kadar hızlı bir şekilde gerçekleştirilmelidir. Bullseye stüdyosunda, 6 mm kalınlığa sahip ufak boyutlu parçaların fırınlanması için, yaklaşık olarak 93 °C veya daha düşük sıcaklığa erişene kadar fırının kendi oranıyla soğumasına izin verilir. Fırın oda sıcaklığına ulaşana kadar hafifçe havalandırılarak cam parçasının çıplak elle tutulana kadar soğumasına izin verilir. Kalın çalışma ve kalınlık değişikliklerine sahip işler için, oda sıcaklığına erişene kadar fırın kapısı kapalı tutulmaktadır ([http-5](http://5)).

2.4. Füzyon Tekniğinin Uygulama Türleri

Amorf molekül yapısından dolayı cam, ısıya diğer malzemelerden farklı tepki verir. Metaller katıdan sıvıya belirli bir sıcaklıkta (erime noktası) dönüşürken, cam; katı olarak davranan bir malzemedan sıvı gibi davranan bir malzemeye geçene kadar kademeli bir dönüşüme uğrar. Camın bu benzersiz özelliği, üfleme teknikleri ve fırında şekillendirme tekniklerinde sınırsız yöntemle çalışmaya olanak sağlar

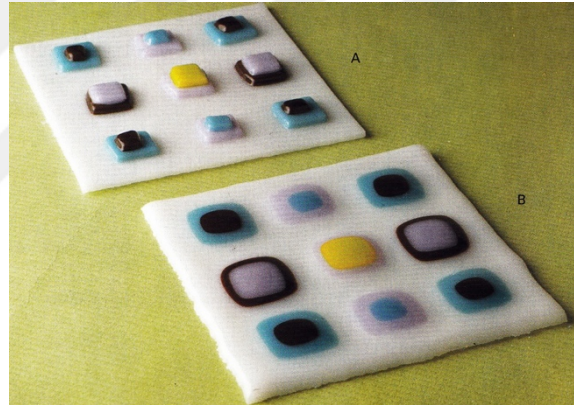
Füzyon Tekniğinde de bu olanakların sunduğu çeşitliliği görmek mümkündür. Füzyon Tekniğiyle uygulama yaparken unutulmaması gereken en önemli faktörlerden biri sıcaklıktır, cama uygulanan ısı işlemler sonucu yüzey farklılıkları ve fiziksel değişiklikler meydana gelir. Bu uygulamalardan her biri, füzyon uygulaması yapılacak cam birleşiminin fırınlandığı en üst sıcaklığa bağlıdır. Cam, sıcaklık değişkeni ile birlikte yumuşar, sıvılaşır bu nedenle şeklini kaybeder, bu sayede çok sayıda görsel etki ve form oluşurken diğer yandan da Füzyon Tekniğinin kendi içindeki uygulama yöntemleri çeşitlenir.

Füzyon Tekniğinde, bu uygulamalarda cam yüzeyinde farklı etkiler yaratılır. Bu uygulamalar genel olarak üç kategoride sınıflandırılır; ‘Yarı Füzyon’, ‘Tam Füzyon’ ve ‘Yüksek Isıda Füzyon’ Yöntemi.

2.4.1. Yarı füzyon

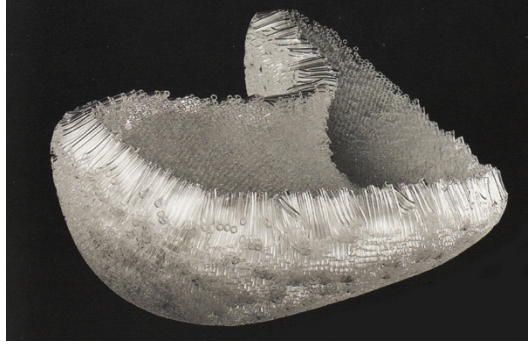
Yarı Füzyon uygulaması, cam katmanları birbirine yapışacak kadar ancak akışkan olmayacak ve cam kenarlarının da şeklini koruyacak bir noktaya kadar ısıtılmasını içerir. Kullanılan cama ve camın bu sıcaklıkta tutulduğu süreye bağlı olarak yaklaşık 700 ° C ila 750° C arasındaki sıcaklıklarda gerçekleştirilir (Watkins-Baker, 2010, s.75).

Yarı Füzyon diğer füzyon yöntemlerinden daha düşük bir sıcaklıkta gerçekleşir; katmanlar birleşir, kenarları ve açıları yuvarlaklaşır. Yarı Füzyon işlemi tam füzyondan farklıdır, çünkü parçalar birbirine karışmaz ve dolayısıyla genel şeklini korurlar.



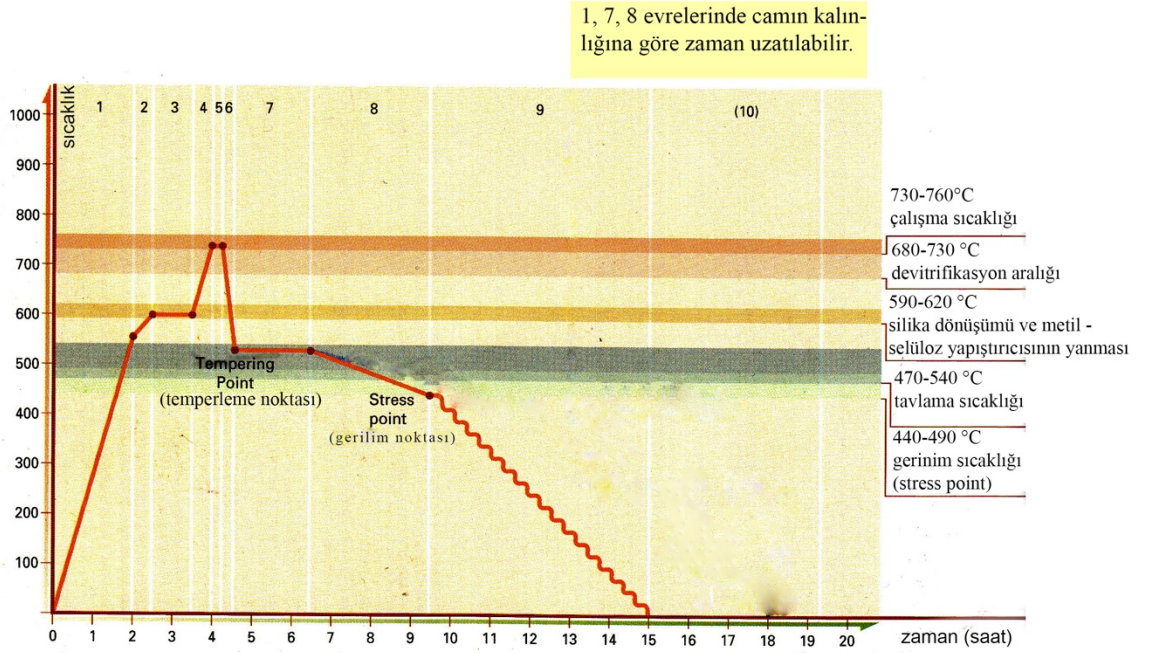
Görsel 2.2. A-Yarı Füzyon, Görsel B- Tam Füzyon (Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s. 81).

Julius Weiland, Görsel 2.2. borosilikat cam boruları ısıya dayanıklı kalıp içerisinde istifleterek kontrollü bir pişirim ile yarı füzyon işlemi gerçekleştirilmiştir (Cummings, 2011, s.110).



Görsel 2.3. Cell, Julius Weiland, 2006 (Cummings, 2011, s. 110).

Aşağıdaki (Görsel 2.3)'de, yarı füzyon uygulamasına ait ısıtım evreleri 730-760°C verilmektedir. Uygulamada kullanılan her plaka kalınlığı 3mm. olup 50,8 çapında 1,5 katmandan oluşmaktadır (Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s. 81).



Görsel 2.4. Yarı Füzyon Isıl İşlem Evreleri- (Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s. 81).

1. Camın temperleme noktası aşılanı kadar süren ilk ısıtım evresi (540°C)
2. Yavaş sıcaklık artışı (600 °C)
3. Fırın içindeki sıcaklığın sabitlenmesi için bekleme evresi. 610°C'de karbonizasyon meydana gelir ve metil-selüloz yapıştırıcısının yok olması da bu

sırada gerçekleşir. Bu fazla kalıplarda kullanılan kuvars dönüşümü de gerçekleşir.

4. Hızlı ısıtma evresi; devitrifikasyonun önlenmesi için sıcaklık hızlıca artırılmalıdır. Bu evre sırasında fırının ara sıra açılıp kontrol edilmesi önemlidir.
5. Çalışma sıcaklığı; kısa bekleme süresi.
6. Devitrifikasyonun önlenmesi için hızlı soğutma evresi; fırın 543° C' ye ulaşılan kadar fırın açılıp kapatılabilir. Bazı fırınlarda açılıp kapatma yapılmadan da sıcaklığın etkili biçimde düşürülebileceği unutulmamalıdır.
7. Tavlama sıcaklığında bekletme aşaması (pencere camı için 540° C)
8. Kontrollü soğutma; tansiyon noktasına kadar (pencere camı için 480° C) yapılan yavaş düşürme işlemi.
9. Fırının oda sıcaklığına kadar soğutulması.

Yarı Füzyon yöntemiyle ile bir çalışma yapmak için ısıtma işlemi döngüsü tabii ki camın boyutuna ve katman sayısına göre değişir. Yarı Füzyonda, üst üste iki kat camın pişirilmesi bir buçuk katman oluşturduğu düşünülmektedir (Tablo 2.4 belirtildiği gibi). Fırınlanan bir bütünüün belirli bölümlerinde iki kat bazı bölümleri de tek kat cam olabilir. Böyle durumlar, ısıtma ve tavlama sürelerini arttırmayı gerekli kılar. Tüm bu değişkenlerin bir sonucu olarak, üç kat istifleme 2.5 tabaka ile sonuçlanırken, dört istifleme 3.5 tabaka oluşturur (Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s. 81).

Isıtma elemanları fırının yanlarında bulunan ya da hem üstte hem de yanlarda bulunan fırınlarda çapı en az 40 cm olan parçalar için belirtilen ısıtma süresi iki katına çıkarılmalıdır. Daha büyük parçalarla çalışırken de ısıtma süresini üç katına çıkartmak gerekir. Pencere Camı kullanılıyorsa, ısıtma sıcaklığı %25 azaltılmalı ya da belirtilen zaman 0,75 ile çarpılmalıdır (Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s. 81).

Aşağıda Tablo 2.4'de gösterilen süreler her tip fırın ve pencere camı kullanılmayan projeler için geçerlidir. Kontrollü soğutma sürelerini belirlemek için (tavlama noktası ile gerilim noktası arasında), tablodaki değerler 1,5 ile çarpılmalıdır. 30 cm ya da daha büyük çaplı parçalarla çalışırken bekletme ve kontrollü soğutma süreleri iki katına çıkarılmalıdır.

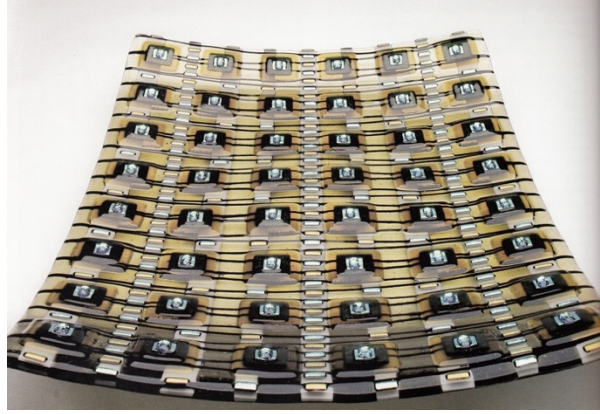
Pencere camı kullanıldığı zaman ise süre %25 azaltılmalı ya da değerler 0,75 ile çarpılmalıdır. (Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s. 81).

Tablo 2.4. Yarı Füzyon Kalınlık Esaslı Bekleme Süreleri (Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s. 81).

YARI FÜZYON				
ISITMA		Katman sayısı		
		1.5 (2 kat)	2.5 (3 kat)	3.5 (4 kat)
ÇAP	10 cm	25 dk	35	45
	20 cm	45	65	75
	30 cm	80	110	130
	40 cm	130	150	180
	50 cm	150	180	210
	60 cm	180	210	240
BEKLEME				
ÇAP	10 cm	20	30	40
	20 cm	35	60	80
	30 cm	60	80	100
	40 cm	80	100	150
	50 cm	100	120	150
	60 cm	150	180	220 dk

2.4.2. Tam füzyon

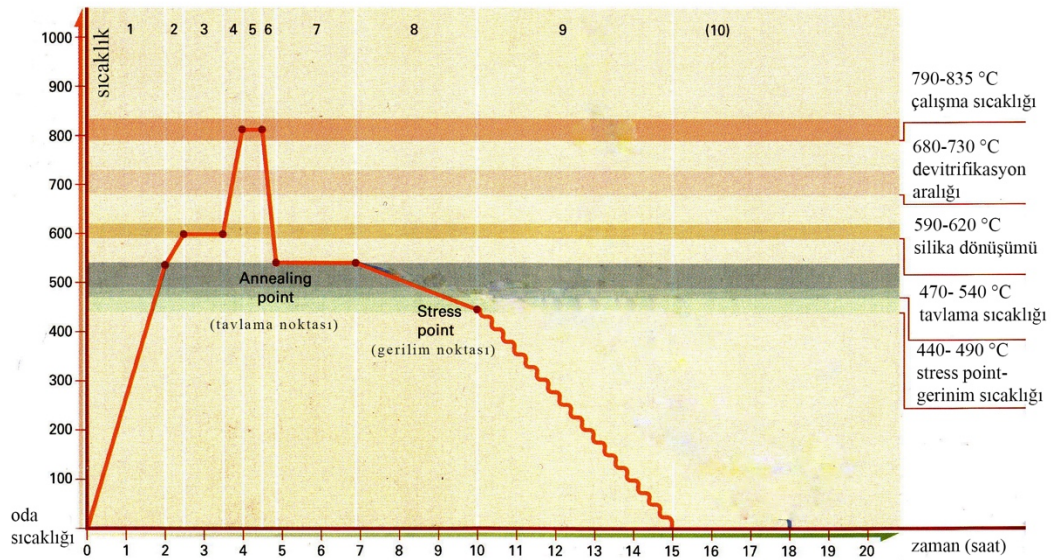
Tam Füzyon, cam parçalarının düz bir üst yüzey oluşturulması için ısıtılması işlemi anlamına gelir; kenarlar tamamen yuvarlanır ve tüm cam şekilleri keskinliğini yitirir (Watkins-Baker, 2010, s.75) (Görsel 2.5). 790°C ile 835°C arasında gerçekleşir ve genellikle cam tam olarak erir, katmanlar incelir ve kenarlar yumuşar. Ayrıca camın viskozitesi de giderek düşer ve eğer kalıp içinde değilse orijinal formun dışına çıkar (Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s. 84).



Görsel 2.5. Tam Füzyon- Sally Dunnnett (Wankins- Baker, Helga, 2010, s. 72)

Cam doğru sıcaklıkta yeterince uzun kalırsa, 6 mm'lik sabit bir kalınlık elde eder. Cam viskozitesinin azalması ve camın akışkanlığı, katmanların hacim kontrolü ile ilgili sorunlara neden olur. Bu problemler daha sonra daha ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

Tıpkı Yarı Füzyonda olduğu gibi, fırın programı da parçanın boyutlarına ve cam plakalarının sayısına göre değişir. Isıtma, bekletme ve kontrollü soğutma için gerekli olan süre, aşağıdaki Tablo 2.5'de özetlendiği gibi parçanın boyutuna ve katman sayısına göre arttırılmalıdır.



Görsel 2.6. Tam Füzyon Isıl İşlem Evreleri- (Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s. 84).

Tam Füzyon Isıl İşlem Evreleri (790–835°C) 3 mm 50,8 cm çaplı iki kat cam için:

1. Camın tavlama noktasına kadar ön ısıtma evresi
2. Yavaş sıcaklık artışı
3. Fırın içindeki sıcaklığın sabitlenmesi için bekleme evresi
4. Devitrifikasyonun önlenmesi için çabuk ısıtma evresi
5. Çalışma sıcaklığı (yarım füzyona göre daha uzun olmalıdır)
6. Devitrifikasyonun engellenmesi için çabuk soğutma aşaması: 560 C sıcaklığı ulaşılan kadar fırının açılıp kapanması (fırın tipine göre değişiklik gösterir)
7. Tavlama sıcaklığında bekletme evresi
8. Kontrollü soğutma evresi: stress point- gerilim sıcaklığına kadar yavaş soğutma (Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s. 84).

Isıtma elemanları fırının yan yüzeylerinde ya da hem üst hem de yan yüzeylerinde bulunan fırınlar için, yaklaşık 40 cm çapındaki parçalarla çalışırken ısıtma süreleri iki katına çıkarılmalıdır, eğer daha büyük parçalarla çalışılacaksa ısıtma süresi üç katına çıkarılmalıdır. Kullanılan cam eğer pencere camı ise sıcaklık değeri %25 azaltılmalı ya da verilen zaman 0,75 ile çarpılmalıdır. Aşağıda Tablo 2.5’de verilen zamanlar, her tip fırın ve pencere camı kullanılmayan projeler için geçerlidir. Kontrollü soğutma (tavlama noktası ile stres noktası arasında) sürelerini belirlemek için bu tablodaki değerler 1,5 ile çarpılmalıdır. Parçaların çapı yaklaşık 50 cm veya daha fazla olduğunda, bekleme ve kontrollü soğutma süreleri iki katına çıkarılmalıdır. Pencere camı kullanılıyorsa, zaman %25 azaltılmalı ya da değerler 0.75 ile çarpılmalıdır (Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s. 85).

Tablo 2.5. Tamı Füzyon Kalınlık Esaslı Bekleme Süreleri (Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s. 85).

TAM FÜZYON						
ISITMA		Katman sayısı				
		1	2	3	4	5
ÇAP	10 cm	0 dk	20	25	35	45
	20 cm	20	40	60	90	110
	30 cm	35	60	90	110	130
	40 cm	45	90	110	150	180
	50 cm	55	110	150	180	210
	60 cm	65	130	180	210	240

BEKLEME						
ÇAP	10 cm	15	20	20	30	30
	20 cm	25	35	45	60	80
	30 cm	35	60	60	80	100
	40 cm	45	80	100	120	150
	50 cm	55	100	120	150	180
	60 cm	65	130	150 dk	180	220

2.4.3. Yüksek ısıda füzyon

Yüksek ısıda füzyon; birden fazla katmandan oluşan bir formun yüzeyine fırın içerisinde farklı gereçlerle müdahale edilerek yeni yüzey etkilerinin oluşturulmasını içerir. 870°C'den 927°C'ye kadar olan aralıkta cam akmaya başlar. Bu akışkanlık, bir bardak su dökülmesine benzemez; daha çok pekmez ya da yoğun şurup gibidir. Fırın rafı dengesizse ya da cam üç kat ya da daha kalınsa, rafdan fırının tabanına akabilir. Yüksek sıcaklık aralığında, camdaki hava kabarcıkları yükselir ve yüzeye doğru çıkar.

Hava kabarcıkları alt katmanlardan yükseldiğinde, genellikle katmanların yüzeyini bozarak benzersiz renk desenleri ve girdaplar oluştururlar (Walker,2010, s.140). Bu aralıktaki sıcaklıklarda, cam; yarı ve tam füzyon sıcaklıklarında olduğundan daha farklı davranır. Yüksek ısıda füzyon uygulamaları yabancı literatürde *high fire* olarak tanımlanmaktadır. Yüksek sıcaklık aralığında çeşitli uygulamalar yapmak mümkündür. Camın akışkanlığı, kullanılan renklerin birbirine teması ile beklenmedik şekiller meydana getirir. Aparat kullanarak örneğin pota, tel gibi camı eriterek plaka oluşturma ya da hazırlanmış plaka camı alet yardımıyla çekerek de benzersiz yüzey etkileri oluşturmak mümkündür.

Yüksek ısıda füzyon tekniği ile yapılan uygulamalarda en az iki kat (6 mm kalınlığında) olan parçaları fırınlamak mümkündür. En iyi sonuçlar için en az 9 mm kalınlığa ulaşılmalıdır. Uygulama sırasında parçaların etrafına bariyer koyulmalıdır; bu sadece camın raftan akmasını önlemeyecek, aynı zamanda kullanılan renklerin karıştırılmasına da olanak sağlayacaktır. Kullanılacak camların uyumlu olması gerekir. Seçilecek cam renklerinin bir kuralı yoktur ancak bazı renkler diğerlerine göre daha iyi

sonuç verir. Füzyon camları 927°C'ye uygun ısı işlem için formüle edilmediğinden dolayı, deneyleme ve hata kaçınılmazdır (Walker, 2002, s.81).

Kaynaklarda tarama (*raking-combing*) olarak da geçen bu tür uygulamalar, fırında sıcaklığın 927°C'ye ulaştığı zaman erimiş cam yüzeyine fırın içinde müdahale edilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Tarama erimiş camı bir aletle çekme eylemidir ve 927°C civarında bir sıcaklığa ısıtılmasıyla başlar. Fırın bu sıcaklığa geldiğinde, açılır ve camın üst yüzeyinde desenler oluşturmak için *combing rod* yani tarama çubuğu adı verilen metal uçlu bir ahşap aletle erimiş camın üzerinde çekilir (Walker, 2002, s.80).

En sıcak füzyon uygulamalarından biri olan tarama tekniğini uygularken güvenlik prosedürlerine uymak çok önemlidir. Pamuktan yapılmış uzun kollu kıyafetler ve iyi bir çift koruyucu eldiven giyilmelidir, sarkan mücevherler çıkartılmalı ve kızılötesi radyasyonu engellemek için koruyucu gözlük takmak kesinlikle gereklidir.

Tarama çubukları (Görsel 2.6) satın alınabilir veya basit ev materyallerinden de yapılabilir. Satın alınan çubuklar ahşap bir tutamağa ve keskin olmayan metal uca (paslanmaz çelik ya da pirinç) sahip olmalıdır. Baştan uca metal olan çubuklardan kaçınılmalıdır, çünkü bunlar sıcak fırın elemanlarına yanlışlıkla dokunulduğunda elektrik oluşturabilir (Walker, 2010, s.146).

Tarama çubuğunun uzun bir tahta sapı varsa, tarama işleminden en az bir gün önce bir kova suya batırılmalıdır. Bu ıslatmanın amacı, fırının ısısından çubuğun ahşap kısmının ateş almasını önlemek içindir. Çubuğun kısa bir tahta tutacağı varsa ıslatma gerekli değildir, ancak tarama işlemi sırasında kullanılmak üzere bir kova su bulundurmak iyi olacaktır (Görsel 2.7). Camı taramak için farklı düzenleme yolları vardır. En yaygın olanı, yaklaşık 9 mm genişliğinde cam şeritlerini kesmek, kenarlarını çevirmek ve hazırlanan bir fırın rafında yan yana koymaktır. Başka bir seçenek, şeffaf cam üzerine ikinci bir tabaka oluşturmak için daha küçük cam parçaları yerleştirmektir. Bu yaklaşım, minimum hazırlık süresi gerektirir ve herhangi bir boyuttaki cam kırıntılarını kullanmanın iyi bir yoludur (Walker, 2002, s.80).

Hem hassas desenler hem de rastgele düzenlemeler yapılabilir (Görsel 2.8). Amaç, toplam kalınlığının 6 ila 9 mm arasında olduğu bir cam düzenlemesi yaratmaktır. Eğer kalınlık yeterli değilse istenmeyen delikler meydana gelebilir. Tarama işleminde cam bazen yayılacaktır, bu nedenle camın kenarları ile fırın rafının kenarları arasında en az 5cm'lik bir mesafe bırakılmalıdır (Walker,2010, s.147).

Aşağıdaki fırın programı Bullseye camı kullanımına göre ayarlanmıştır. Tavlama sıcaklığı kullanılan cama ve cam kalınlığına göre ayarlanmalıdır. Aşağıda Watkins-Baker'ın önerdiği bir fırın programı görülmektedir.

150°C/saat 520°C

999°C/saat 900°C

Tarama gerektiği sürece 900°C'de tutun (fırın tipine göre 920°C)

En kısa sürede 482°C'ye kadar soğutun (cam tipine ve kalınlığına göre değişir)

Parçanıza bağlı olarak 60 dakika boyunca 482°C'de bekleme (cam tipine ve kalınlığına göre değişir)

75°C/saat 370 ° C

150°C/saat 200°C'ye kadar kademeli soğutun ve sonra fırını kapatıp oda sıcaklığına kadar soğutma yapın (Watkins-Baker, 2010, s.194).



Görsel 2.7. Tarama İçin Kullanılan Malzemeler (Walker, 2002, s.80)

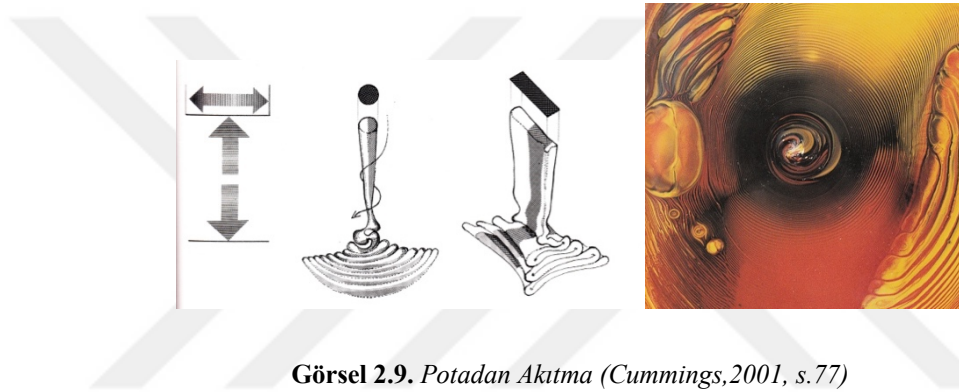


Görsel 2.8. A- Tarama Yapılmadan Önce, B- Tarama yapıldıktan sonra (Watkins-Baker, 2010, s.195)

Diğer bir yöntem ise *Pot melts* olarak geçen potadan akıtma yani ergiterek plaka cam oluşturma yöntemidir. Renkli cam parçaları dibi delik bir pota içine yerleştirilmesi

ve ardından yüksek sıcaklıkta eritilerek fırın rafının üstüne akarak farklı renklerin birleşmesiyle cam kütlesi oluşturulur. Bu uygulamada pota yerine farklı dokulardaki teller kullanarak da benzersiz dokular elde etmek mümkündür (Görsel 2.9).

Mezopotamya cam ustaları camı sıvı halde döktüklerinde potadan akıtma tekniğini 'yılan gibi kıvrılma' olarak tanımlamışlardır. Bu görsel sıvı camın katlanma etkisinin bir engelle karşılaştığındaki görüntüsünü vermektedir. Bu kıvrılma hareketi, cam akışını kesen bir yüzey üzerinde halkalar oluşturur ve tamamen homojenleşmeden cam kütlesinde kalır (Cummings, 2001, s. 76).



Görsel 2.9. Potadan Akıtma (Cummings, 2001, s. 77)

2.4.4. Eklemeler

Cam içerisindeki eklemeler, genellikle iki camın arasına cam haricinde farklı materyallerin ilave edilmesi ile oluşturulur. Genellikle şeffaf cam kullanılır ancak renkli camın kullanılması da mümkündür. Füzyon Tekniği ile iki cam ve malzeme kaynaşır. Eklemeler 760-835°C arasındaki çalışma aralığında oluşturulur (Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s. 88).

Bu çalışma yönteminde karşılaşılan teknik zorluklar şunlardır:

Sıkışmış havanın kontrolü (kabarcıklar)

Cam akışını tam füzyon sıcaklığında engellemek

Uzatılmış ısıtma ve soğutma evrelerinde çalışma

Bitmiş projede soğuk çalışmayı en aza indirmek ([http-7](http://7))

Füzyon için iki plaka cam genellikle uygun bir kalınlık sağlar, bu durum camın kuvvetli olmasını ve aynı zamanda da farklı malzemeler eklemek için fırsat sağlar.

Eklemeler için cam tozları, fritler, çubuklar ve konfeti gibi camdan yapılmış malzemeler olabildiği gibi aynı zamanda yüksek sıcaklıklara dayanabilen diğer malzemelerden de kullanılabilir. İki plaka cam arasında farklı malzemelerden oluşan sandviç, fırında ısıtılabilir ve (Tablo-2.6.) iki cam arasında kalan malzemelerin sınıflandırmasını içermektedir.

Tablo 2.6. Cam içerisinde eklemeler sınıflandırması (Bialek, 2017, s.60)

Cam Sanatında, Sanatçıların Eklemeler uygulamaları için kullandığı malzemelerin listesi	
Cam	Renkli camlar, boncuklar, elyaf, cam tozları, "karanlıkta parlayan" tozlar, vb.
Organik	Kurutulmuş bitki parçaları, yapraklar, toprak, kahverengi-yeşil toprak, deniz kabukları, insan ve hayvan kalıntıları (kemik) .
Seramik	Çin kili, kaolen, vintage tabaklar, porselen.
Görseller	Basılı transferler, serigrafi baskı, kumlama, gravür, fotoğraf, dijital ve lazer baskı ve diğerleri.
Metal Ve metalik malzemeler	Bakır, kurşun, kükürt, selenyum, bakır tozu, bakır iplik ve tel, bakır yaprak ve levha, gümüş yaprak, altın yaprak, pirinç gümüş folyo, 24K altın folyo, paladyum, pirinç, sahilde bulunan paslı metaller, dikroik özler (metaller: kurşun, kükürt, bakır ve selenyum), oksitler (krom yeşili, kobalt mavisi, vanadyum sarısı), nikrom, çinko, çelik ve ilgili alaşımlar, düşük erime noktasına sahip metal paralar (Walker, 2010).
Diğerleri	Lüster etkili cam, emayeler, fiber kağıt, mika, hava kabarcığı, hava, beton, yarı saydam beton...

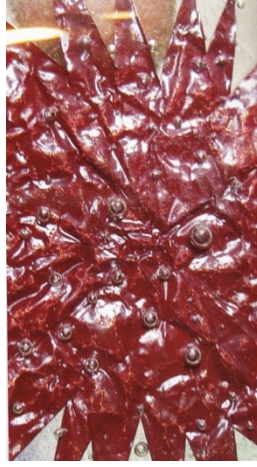
Cam Sanatçısı Jeffrey Sarmiento'nun eklemeleri (Görsel. 2.10) genellikle renklidir camda serigrafi baskı yöntemini kullanır, su jeli de kullanarak camda katman katman çalışması, her katmanın yeniden kurgulanması birçok farklı yorumlama olanağı sağlamaktadır.



Görsel 2.10. ‘*Encyclopaedia*’, 2013. Serigrafi, Füzyon ve parlatma 107 x 21 x 15 cm
(<https://www.jeffreysarmiento.co.uk>) (Erişim Tarihi:18.01.19)

Kâğıt, karton, plastik gibi yanıcı olan ve zararlı dumanlar çıkaracak inorganik bileşikler kullanılmamalıdır. Bitki yaprakları, ince dallar, küçük kabuklar ve kemikler gibi organik nesneler ilginç etkiler verebilir, ancak ısı işlem sonucu değişecek, karbonlaşacaklardır (Watkins-Baker, 2010, s.80). Bu tür eklemeler cam arasında kül kalıntısı kalmasına neden olur. Madeni paralar, pullar, büyük miktarda olan metaller, cam ile hareket etmeyecekleri için uyumsuzluk yaratabilir, ancak alüminyum ve bakır gibi yumuşak metallerin ince veya daha küçük parçalarının kullanımı eklemeler için daha uygundur. Bu metallerin rengi değiştirecektir. Alüminyum yüksek sıcaklıkta siyahlaşma eğilimindedir. Diğer taraftan bakır, cam içerisindeki pozisyonuna bağlı olarak kırmızımsı-turuncudan mavimsi-yeşile kadar değişen bir renge dönüşebilir ve camın birbirine yapıştığı yerlerde hava kabarcıkları kalabilir. Gümüş varak kullanımında ise sarı bir etki yaratmak için camla reaksiyona girebilir (Watkins-Baker, 2010, s.81). Camın içine konulacak olan nesneler veya malzemelerin üzerini yeterince örtecek büyüklükte cam bulunmalıdır. Nesne, tamamen cam katmanları arasında sandviçlendiğinde en iyi sonuçlar elde edilir.

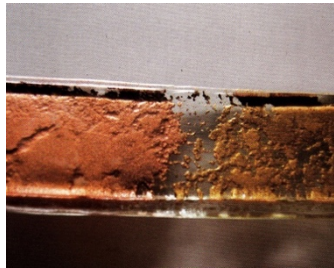
Bakır (Cu), çok yumuşak, biçimlendirilebilir, paslanmaya dayanıklı ve en iyi ısı iletkenlerinden biri olan kırmızımsı kahverengi bir metaldir (Görsel- 2.11) Muhtemelen eklemelerde en çok kullanılan metallerden biridir çünkü; çok ilginç etkiler yaratır, davranışları ve sonuçları tahmin edilebilirdir. Bakır ısı varlığında oksitlenir bununla birlikte, iki cam arasındaki kullanılan bakır tabakaları, tam oksidasyonu önlemek için heterojen renk geçişleri üretecek kadar hava barındırır (Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s. 38).



Görsel 2.11. İki Cam Arasında Füzyonlanmış Bakır Folyo (Watkins-Baker, 2010, s. 80)

Gümüş (Ag), parlak, yumuşak, şekillendirilebilir ve mükemmel bir ısı iletkeni olan değerli bir metaldir. Doğada ham bir halde veya sülfürlü minerallerin bir parçası olarak bulunur. Gümüş ısı mevcudiyetinde okside olur ve tabaka formunda kullanıldığında çok belirgin olan bazı karakteristik sonuçlar vardır. Yaygın olarak kullanılan ana metallerin yanı sıra, tek başına (alüminyum ve çinko gibi) veya alaşımlar şeklinde (örneğin, nikel bakır, bakır alüminyum alaşımı vb.) kullanılabilir. Denemeler için sınırsız olasılıklar mümkündür (Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s. 38).

Mika, son zamanlarda eklemeler için popüler bir materyal haline gelmiştir. Bunun sebebi yüksek ısıya dayanıklı olduğu ve metallere farklı olarak ısı işlem döngüsünde renk veya görünüşü değiştirmediği için tercih edilir. Mika, Füzyon Tekniğinde kullanmak üzere toz haline getirilir. Metallerde olduğu gibi mika, cam yüzeyine yapışmaz, bu yüzden iki cam tabakası arasına hapsedilmelidir (Watkins-Baker, 2010, s.81).



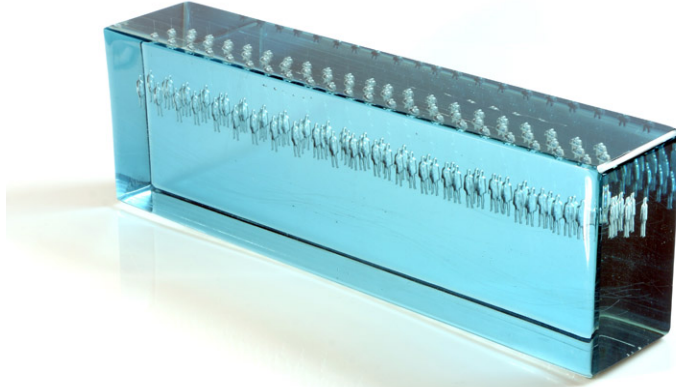
Görsel 2.12. Füzyon- İki Cam Arası Mika (Watkins-Baker, 2010, s. 81)

Ekleme uygulamalarında karşılaşılan diğer bir yöntem de hava kabarcıklarıdır. Füzyon Tekniğinde istenilen hava kabarcıkları yaratmak, sanatçıların dekoratif paletlerinin bir parçası olarak keşfettikleri başka bir alandır. Bu farklı şekillerde yaratılabilir. Birincisi, dokulu cam kullanmaktır. Rastgele küçük kabarcıklar için, dokulu camların içe doğru bakacak şekilde yerleştirilmesiyle gerçekleştirilebilir. Daha düzenli kabarcıklar, cam levha içine yerleştirilmiş düzenli düz çizgiler içeren, *reed glass* olarak bilinen bir tür dokulu cam kullanılarak elde edilebilir. Benzer bir yöntem, iki cam parçası arasına cam çubuklar kullanılmasıdır. (Görsel.2.12 ve 2.13) Hatta yoğun kullanıldığında veya kalın bir şekilde istiflendiğinde cam fritler bile kabarcıklar oluşturabilir (Watkins-Baker, 2010, s.81).



Görsel 2.13. Füzyon- İki Cam Arasında Kullanılan Cam Çubuklar ve Oluşmuş Hava Kabarcıkları
(Watkins-Baker, 2010, s. 82)

Cam sanatında ekleme uygulamalarında hava kabarcıklarıyla ilgili çalışmalarıyla dikkat çeken araştırmacılardan biri Joanne Mitchell'dir. Mitchell, doktora tez çalışmasında (2017) "Hava Kontrollü Şekillendirme" tekniğini geliştirmiştir (Görsel 2.14 ve 2.15). Hava Kontrollü Şekillendirme için; dijital üretim teknolojilerini, döküm ve füzyon tekniklerinin olanaklarını kullanmıştır.



Görsel 2.14. 'Legion', Joanne Mitchell, 2015 (sujeti kesim-Füzyon)
(<https://www.designboom.com/art/joanne-mitchell-digital-tech-air-bubble-artworks-10-21-2015/>)
(Erişim Tarihi:21.02.19)



Görsel 2.15. 'Deconstructed Being' Detay, Joanne Mitchell, 2015 (sujeti kesim, füzyon)
(<https://www.designboom.com/art/joanne-mitchell-digital-tech-air-bubble-artworks-10-21-2015/>)
(Erişim Tarihi:21.02.19)

Camın kendine özgü özellikleri göz önüne alındığında, olağanüstü eklemeler yaratmak mümkündür. Dahil etmek için kullanılan materyal, cam türü, eklemelerin temas halinde bulunan cam yüzey alanı ve çalışma sıcaklığı gibi projenin sonuçlarını etkileyen birçok değişken vardır. Kullanılan renkli cam ya da şeffaf cam nihai sonucu etkiler ve eklemeler nesnelere şekilsel ya da renksel özellikler kazandırır. Aslında, eklemeler parçanın genel tasarımının bir ögesidir (Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s. 88).

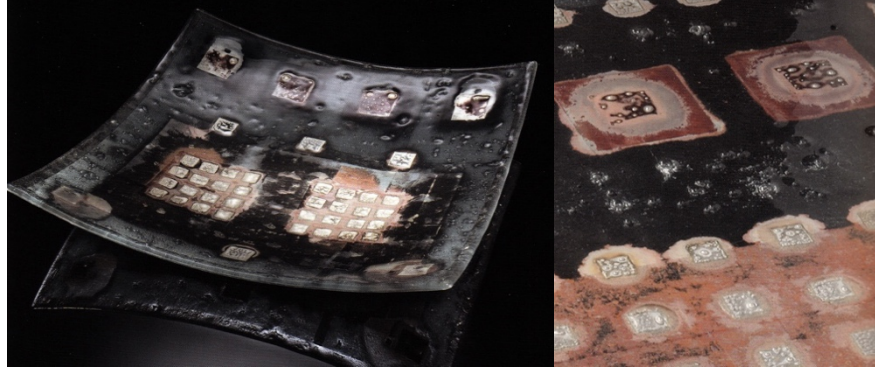


Görsel 2.16. Mustafa Ağatekin 'Sohbet' 2004 cam içi seramik,
(<http://mustafagatekin.com/index.php/2004-2/>)

Cam Sanatında ekleme uygulamalarına ilişkin araştırmalar ve uygulamalar yapan Mustafa Ağatekin, seramiği iki cam arasına hapsederek, füzyon tekniğini uygulamıştır (Görsel 2.16). Tekniği cam içi seramik olarak adlandıran sanatçı işlem basamaklarını şu şekilde açıklamaktadır:

Bu çalışmalarda 1000 °C ve 1200 °C seramik döküm çamurları, seramik sır altı boyları kullanılmıştır. Tekniğin uygulama aşamalarında ise öncelikle kalıp alçısından düz alçı plakalar dökülmüş, kuruduktan sonra bu plakalar üzerine desenler kazınmıştır. Kazıma işleminden sonra sır altı seramik boylarıyla renklendirme yapılmış ve renklendirilen yüzey üzerine döküm çamuru dökülmüştür. Bu işlemten sonra kesilen float cam, kalıbın üzerine bastırılarak bir süre beklenmiş daha sonra camı alçı kalıptan ayırarak seramiğin cam yüzeyine tüm doku ve renkleriyle transferi gerçekeştirilmiştir. Sonraki aşamada cam yüzeyindeki seramik yavaş kurutulmuş ve ilk pişirimi yapılmıştır. İlk pişirimin amacı seramik içindeki gazların ve nemin atılması, seramikte oluşacak küçülmelerin bitirilmesidir. Daha sonra ikinci bir pişirim ile seramikli plaka üzerine ikinci cam kesilip yerleştirilmiş ve füzyon pişirimiyle birlikte istenilen bütünlüşme gerçekeştirilmiştir (Ağatekin, 2009, s.143).

Lara Aldridge'in çalışmaları, çeşitli metallerin iki cam tabakasının arasına sıkıştırılması sonucunda oluşturulmuştur (Görsel 2.17). Renkler, metallerin sıcaklığa ve cam tabakalarının arasında oluşan pozisyona bağlı oksijen miktarı ile farklı oksitlenme durumları sonucu ortaya çıkmıştır (Cummings, 2011, s.108).

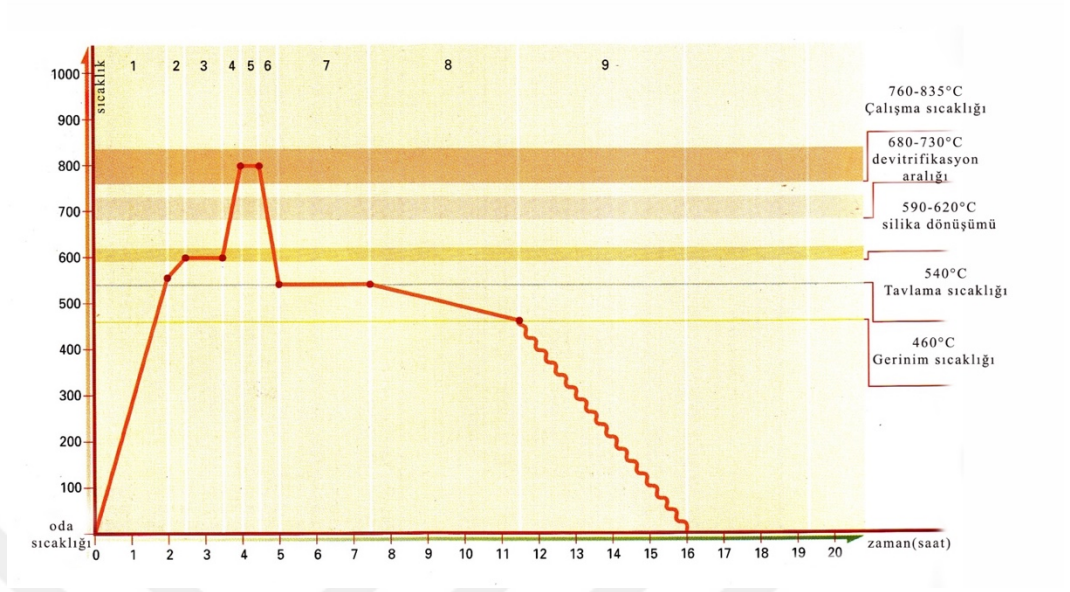


Görsel 2.17. *Lara Aldridge, (Cummings, 2011, s. 109)*

Ekleme uygulamaları için, tam füzyon da olduğu gibi pencere camı kullanıldığında boyut ve cam tabakaları ile ilgili olarak ısıtma ve bekletme süreleri aynıdır. 50,8 cm çapında ve her biri 3mm kalınlığındaki iki katman cam için 760 ila 835°C çalışma sıcaklığı uygundur. Pencere camı kullanılarak yapılan eklemeler için bazı evrelerin zamanının arttırılması gerekir. Tavlama sıcaklığının üstündeki (540°C'nin üstünde) ilk ısıtma evresi daha uzun olmalıdır. Ayrıca kontrollü soğutma evresinde (540°C'nin tavlama noktasında) yani fırındaki tavlama sıcaklık düşüşünde zaman uzatılmalıdır (Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s. 84).

Eklemeler Isıl İşlem Evreleri (760–835°C) (3 mm 50,8 cm çaplı iki kat pencere camı için) Görsel 2.18'de verilmiştir.

1. Camın tavlama noktasına kadar ön ısıtma evresi
2. Yavaş sıcaklık artışı
3. Fırın içindeki sıcaklığın sabitlenmesi için bekleme evresi- 620°C'de kullanılmış olan yapıştırıcının ortadan kalkmasıyla karbonlaşmanın meydana gelmesi
4. Devitrifikasyonun önlenmesi için çabuk ısıtma evresi
5. Çalışma sıcaklığı
6. Devitrifikasyonun engellenmesi için çabuk soğutma aşaması: 560°C sıcaklığı ulaşılan kadar fırının açılıp hızlı kapanması. Bu işlem yapılmazsa ısıtma elemanları zarar görebilir.
7. Kontrollü soğutma evresi: tavlama sıcaklığına kadar yavaş soğutma
8. Gerinim noktasına kadar kontrollü soğutma
9. Fırının oda sıcaklığına kadar soğutulması (Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s. 84).



Görsel 2.18. *Eklemeler Isıl İşlem Evreleri- (Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s. 88)*

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. FÜZYON TEKNİĞİNDE KULLANILAN GEREÇLER

3.1. Füzyon Tekniğinde Kullanılan Camlar ve Özellikleri

Günümüzde plaka camın kullanımı konutlardan gözlüklere kadar pek çok alanda yaygınlaşmıştır. Plaka camlar işlevsel özelliklerinin yanı sıra sanat ve tasarım uygulamalarında da yoğun olarak kullanılmaktadır. Cam sanatında özellikle füzyon ve çökertme tekniklerinde kullanımı en yaygın cam türü plaka camlardır. Çoğu plaka cam yüzdürme, çekme, silindirme ve nadir olarak da üfleme gibi yöntemlerle üretilir. Üretim yöntemleri camların kullanım amaçlarına göre çeşitlenebilmektedir.

3.1.1. Düz camlar ve üretim yöntemleri

Cam üretimi, emek isteyen yoğun bir süreçtir ve farklı cam türlerinin meydana getirilmesi için çeşitli yöntemler kullanılabilir. Cam üretimi için tarihi üretim teknikleri olan üfleme ve döküm teknikleri geliştirilmiş ve günümüzde de özel cam türleri oluşturmak için kullanılmaya devam etmektedir. Bununla birlikte yeni düz cam üretimleri olan yüzdürme ve çekme yöntemleri ile desteklenmiştir.

Roma Döneminde, pencere boşluklarında cam plakalar ile birlikte ince kesilmiş mermer, mika ve hatta deniz kabukları bile kullanılmıştır. Tarihsel süreçte düz cam üretim yöntemleri ile ilgili olarak iki farklı görüş bulunmaktadır. Bunlardan ilkinde göre; camın yassı bir kütüğün üzerine döküldüğü ve daha sonra kısıpaca benzer aletlerle çekerek uzatılmış ilkel bir döküm yöntemi ile yapılmış olabileceğidir. Diğer görüşe göre; camın ıslak bir ahşap tabana sahip sığ bir tepsiye döküldüğü ve dikdörtgen biçiminde ya silindirlenmiş ya da yassılaştırılmış olmasıdır. Erken dönem cam yapımında kullanılan malzemelerle camın renkleri mavi, yeşil ve bazen kahverengi olma eğilimindeydi, ancak sonunda soluk sarımsı kahverengi bir cam geliştirmişlerdir ve bu camların bir tarafı daima döküm masasının üzerindeki ayırıcı işlevi gören kumdan dolayı pürüzlü olmuştur (Bray,2001, s.213).

Cam endüstrisinin ilk devrimi, Suriyeli cam ustalarının, camın sayısız şekil ve kalınlıkta üretilmesini sağlayan cam üfleme çubuğunun yani piponun icat edilmesidir. Ardından Romalılar, gösterişli cam ürünleri üretmek için, çeşitli üretim süreçlerini (serbest üfleme, kalıp üfleme ve kalıp presleme gibi) kullanarak ilk yüzyılda cam

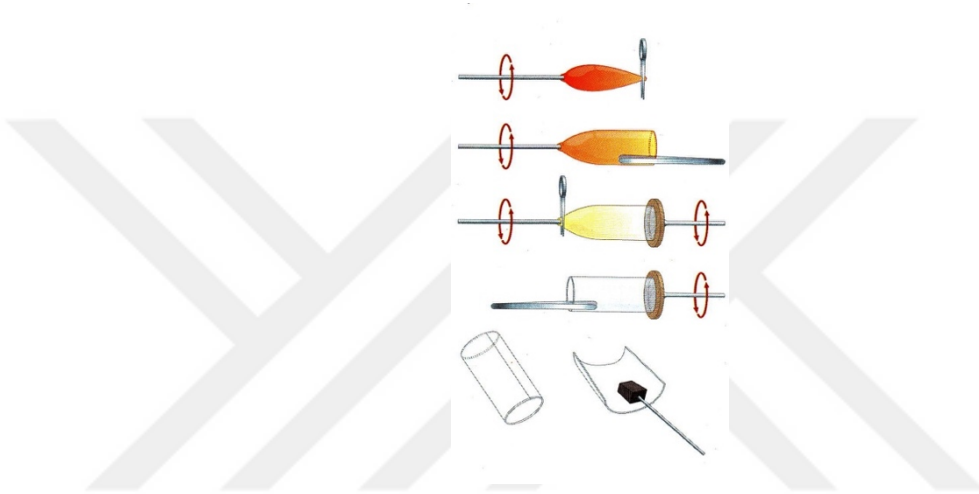
üretiminde devrim yarattılar. Düz pencere camı üretimi ise erimiş camı bir demir masanın üzerine dökerek ve onu esneterek üretilmiştir, bu da mimarının yüzünü değiştirmiştir. Roma İmparatorluğu, daha sonra büyük cam balonlarını ya da silindirleri açıp düzleştirerek düz cam üretmişlerdir. Ayrıca düz camları gümüş karışımlar uygulayarak ayna üretmeye başlamışlardır ve bu Roma yenilikleri kısa zamanda Avrupa'ya yayılmaya başlamıştır ([http-9](http://9)).

İlk Hristiyan dönemlerde Samiriye denilen bugünkü İran ve Harran bölgeleri civarında üfleme küçük göbekli camların çiftler halinde yerleştirilmiş olduğu görülmüştür. Kuşkusuz, Suriyeliler bu süre zarfında geniş yassı tabaklar hazırladılar ve bu üretimin sonucunun göbekli cam yapımına yol açtığı düşünülmektedir. Dikdörtgen bölmeleri kesmek için yeterli büyüklüğe sahip göbekli camlar yapımı için ise oldukça uzun bir zaman geçmiştir. Suriyeliler MS 8. yüzyılda göbekli pencere camı üretiminde oldukça üretkendir (Bray,2001, s.213).

Bizans cam eşyalarını ithal eden Venedikliler, 13. yüzyılın sonlarında kendi camlarını üretmeye başladıktan sonra kendi “Ticari sırlarını” korumak için tüm Venedik cam atölyelerini, İtalyan camcılığı Rönesansının önümüzdeki birkaç yüzyıl boyunca devam ettiği Murano adasına taşımışlardır. Venedikliler, bir demir masanın üzerine renksiz camın dökülmesi ve daha sonra pürüzsüz bir cam tabakası oluşturana kadar parlatılmasıyla plaka cam üretim prosesini mükemmelleştirmiştir. Venedikliler ayrıca, Avrupa çapında tanınan aynalar üreten cıva döküm işlemi geliştirmişlerdir. Bu sürece katılan pek çok kişi genç yaşlarda cıva zehirlenmesinden hayatını kaybetmiştir, bu aynalar muazzam bir kârla satılmıştır. Ancak, İtalya'nın çabalarına rağmen, Venedik cam yapım uzmanlığı tüm Avrupa'ya yayılmıştır ([http-9](http://9)).

Üflenip silindir haline getirilerek yapılan pencere camının, 11. yüzyılın başlarında Almanya'da üretildiğini düşünülüyor ve bu yöntemin Venedik'te birkaç yüzyıl sonrasına kadar ortaya çıkmaması garip görünse de bu durum Venediklilerin dekoratif cam üretiminde uzmanlaşmış olmaları ve şeffaf pencere camlarını Fransa ya da Almanya'dan talep etmeleri olarak açıklanmaktadır (Görsel 3.1). Büyük Avrupa kiliselerinin inşası büyük olasılıkla pencere camının geliştirilmesinde de etkili olmuştur ve genellikle silindir tekniği ile yapılmış pencere camları kullanılırken, Fransa'nın kuzey bölgesinde, Normandiya'da döndürülerek üretilmiş göbekli pencere camları tercih edilmiştir. Boyama için göbekli cam, silindir cama göre daha etkili olduğu için İngiltere'de yoğun olarak kullanılmıştır. Küçük cam plakaları yapmanın diğer bir yöntemi de camı

dikdörtgen bir kutuya üfleme ve daha sonra kenarlarından keserek beş küçük tabaka yapmaktı. Bazı nedenlerle Normandiya ile ya da Normanlarla bağlantısı bulunduğu dair hiçbir kanıt olmamasına rağmen bunlar ‘Norman Slabs’ Norman Plaka olarak adlandırılmıştır. Kenarları merkeze göre daha ince olduğu için renklendirildiğinde, plakaların merkezinde daha fazla renk derinliği vardır. Vitray konusunda uzmanlaşmış firmalar tarafından hâlâ bu şekilde üretilmiş camlar sipariş verilmektedir (Bray,2001, s.213).



Görsel 3.1. Üflenip Silindir Haline Getirilip Düz Cam Üretim Yöntemi
(Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s.28).

Fransızların düz cam üretiminde kullandığı yöntem ise; kenarları metal çubuklar içeren bir döküm masasına camı döküp, ardından camı silindirle yayarak, mümkün olduğunca düzeltip ve son aşamada da tavlama yaparak sürecin tamamlanmasına dayanıyordu. Bu üretim yöntemi göbekli cam ya da silindir yöntemi ile yapılan camlara oranla daha büyük tabakaların üretilmesine olanak sağlamıştır (Bray,2001, s.213).

18. yüzyılın başlarında Britanya'da 90 tane cam üreten atölye bulunmaktadır ancak hepsi göbekli veya silindir yöntemiyle plaka cam üretimi yapmaktadır. Ancak 18. yüzyılın sonlarında St. Helens'de *Cast Plate Glass Company* adında bir şirket kurulmuştur. Ardından 1920'de Birmingham'da yaşayan Robert Chance, cam üfleme ustalarına daha büyük silindir yaptırmış, Avrupa'da yapıldığı gibi sıcakken makaralarla kesmek yerine soğuduktan sonra uzunluğu boyunca kırılarak daha sonra silindirleri yeniden ısıtıp geleneksel bir kum yatağına değil de, bir blok ahşap ile yassılaştırılıp parlak yüzeyli cam plaka ürettirmiştir. Bu yöntem ile parlak ve pürüzsüz cam plaka

üretilmiş ve Chance daha sonra *Chance* patenti ile plaka cam üretimi yapmıştır (Bray,2001, s.214). 1851 yılında Londra’ da bulunan Crystal Palace için tüm camların üretilmesinde kullanılan bu yöntem ile sadece vitray için özel plaka cam üretiminde kullanılmıştır. Aslında, gösterilen süreç, pencere camı yapmak için bin yılı aşkın süredir kullanılan ile aynıdır. Bu sistem, sadece manüel yollardan çok daha büyük silindirlerin üretilmesine olanak sağlamıştır (Cummings,2002, s.90).

1920’lerde, plaka cam üretim tarihinin en önemli teknolojik ilerlemelerinden biri ‘continuous ribbon’ olarak adlandırılan bir üretim sürecinin geliştirilmiş olmasıdır. Bu yeni sistem, plaka cam üretiminin dört ayrı aşamasını (hammadde giriş, eritme, plaka oluşturma ve tavlama) tek ve sürekli bir işlem halinde birleştirilmiş ve fazla miktarda düzgün ve dayanıklı cam üretilmesini mümkün kılmıştır (http-10).

Tarihin bu dönemlerinde düz cam üretimindeki en temel sorunların başında ince camın parlatılması geliyordu, başlangıçta düz olmayan herhangi bir camın rodajlanması, camı kaçınılmaz olarak çok kırılğan hale getirip düzeltme ve parlatma sırasında kırılmasına neden oluyordu. Bu problem, ıslak deri ile örtülü tahtanın üzerinde camın dinlendirilmesi yoluyla bir dereceye kadar çözülmüştür. Böylece cam rodajlanırken ve parlatma yapılırken çatlama ve kırılmalar aza indirgenmiştir (Bray,2001, s.213).

Yine İngiltere’nin Sunderland şehrinde James Hartley, sıcak camı direkt olarak fırından alıp bir döküm masasına dökerek ince ancak pürüzlü cam plaka üretimini piyasaya çıkarmıştır. Sonuç; yüzeyi parlak olmayan, ucuz ve çatı pencereleri için talep gören bir düz cam olmuştur. Bu süreç, camı iki silindirden geçiren ve her iki tarafı da oldukça temiz ve parlak cam üreten James Chance tarafından geliştirilmiştir (Bray,2001, s.213).

19. yüzyılın sonlarına doğru Amerika’da silindir yöntemi olanakları önemli ölçüde geliştirilmiştir. Bu yöntemde cam, fırından ısı kaynağının üzerinde bulunan ters döndürülebilir bir potaya kepçe ile alınır. Daha sonra geniş bir çekme piposu ergimiş camın kenarına indirilir. Pipo hava üflenirken kaldırılır, cam silindirin duvar kalınlığını kontrol etmek için kaldırma borusunun hızı ile üflenilen hava miktarı önemlidir. 40 fit (12 metre) kadar uzunlukta olabilen bu silindir, boyları kesilmeden önce dikeyden yatay bir konuma indirilmiş ve daha sonra açılarak düzleştirilmiştir (Bray,2001, s.213).

Cam levhaları direkt olarak fırından çekmek için birçok girişimde bulunulmuş ancak tüm erken girişimler, cam çekilirken genişliği azaldığı için sonuç başarılı değildir. Ancak 20. yüzyılın başlarında Belçika’lı Emile Fourcault, dar ve uzun yivli bir refrakter

döşeme kullanarak bu zorluğun üstesinden gelmeyi başarmıştır. Bu süreç camı doğrudan ergime tankından yukarı çekmeyi içeriyordu. Camın kalınlığı silindirler arasındaki camı çekme hızı ile kontrol edilmiştir. Bu işlem erken safhalarda iyi plaka cam üretmek için kullanılmıştır ancak birkaç gün sonra yuvanın etrafında oluşan devitrifikasyon parçacıklarının miktarı nedeniyle üretimin kalitesi düşüktür (Bray,2001, s.213).

Belçikalı mühendis Èmile Fourcault ve Èmile Gobbe, Dempreny'deki cam fabrikasında silindir cam hazırlamak için bir makine prototipini geliştirmiştir. Makine camı dik olarak çeken birkaç büyük silindirden oluşuyordu. Cam boyutları 40 x 11 metreye ulaşabilmekteydi. Yöntem için bir patent 1904'te kaydedilmiştir, ancak makine ile çekilen camın fiili üretimi ve pazarlaması 1914-15'e kadar başlamamıştır. "Fourcault metodu" olarak üretilen camların optik hasarları azaltmış, ancak tamamen ortadan kaldırılamamıştır. 1959'da Pilkington Brothers'ın "float glass" ini piyasaya sürene kadar pencere camı üretiminde en yaygın üretim yöntemi olarak kalmıştır ([http-11](http://11)).

ABD'de düzcam üretimi için benzer yöntemler, Fourcault yöntemi ile aynı zamanda geliştirilmiştir. Bunlardan biri, Fourcault yöntemine büyük benzerlik gösteren "Pittsburgh yöntemi" idi. Diğer üretim yöntemi ise "Colburn yöntemi" olarak adlandırılan yöntem biraz farklıdır: Burada, erimiş cam, dikey olarak yukarı doğru çekilmiş, daha sonra bir silindirin üzerinden yatay pozisyona getirilmiştir ([http-11](http://11)).

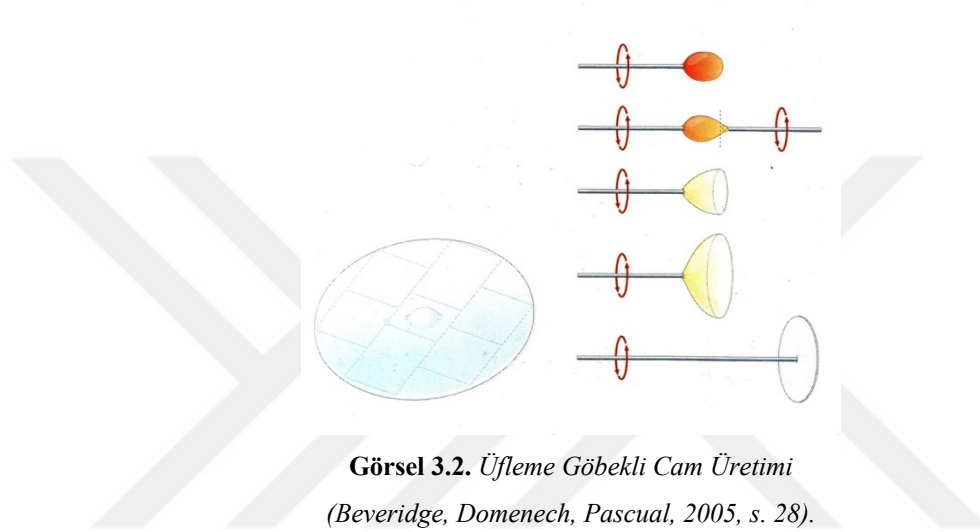
Sonunda Sir Alistair Pilkington, 1960'larda sanayiye devrim yaratan "float" cam olarak bilinen pencere camının yapım yöntemini icat etmiştir. Bu işlemde, sürekli cam şeridi eritme fırınından dışarı çıkar ve erimiş kalay banyosunun yüzeyinde yüzdürülür. Cam şerit üzerinde, düzensizliklerin giderilmesi ve yüzeyin düz ve paralel hale gelmesi için gerekli süre boyunca yüksek sıcaklıkta tutulur: erimiş kalayın yüzeyi düz olduğundan dolayı cam da düzleşir. Cam şeriti daha sonra, eriyik kalay üzerinden, dışarı alınacak kadar sert hale gelinceye kadar soğutulur: Sonuçta, tek kalınlıkta, parlak ve cilalı yüzeylere sahip, taşlama ve parlatma gerektirmeyen bir cam üretilmiştir ([http-12](http://12)).

Günümüzde çoğu düz cam float tekniği ile üretilmekte ancak hala üfleme, silindirleme ve çekme yöntemleri de kullanılmaktadır.

3.1.1.1. Üfleme göbekli cam yöntemi

Göbekli cam üretiminde, ilk olarak ergimiş cam pipo üzerinde konik şekil verilir, istenilen büyüklük elde edildikten sonra noble çubuğunun ucuna erimiş bir cam kütle

alınır, oluşturulan formun tabanındaki noktasal çıkıntıya sabitlenir ve diğer taraftaki üfleme çubuğu sulu demir ile kesilerek ayrılır. Noble çubuğundaki cam disk oluşana kadar hızla merkezkaç kuralından yararlanarak döndürülür (Görsel 3.2). Bu cam türü 19. yüzyılın ortalarına kadar kullanılmıştır. El yapımı camın doğası gereği her plakası benzersizdir; kalınlıkları, kabarcıkları... ve bu kusurlarından dolayı elle üretilmiş camların değeri yüksektir.



3.1.1.2. Dökme-silindirme yöntemi

Bu yöntemde cam hamurunun düz bir kalıp içine dökülmesi ve daha sonra bu cam hamurunun üzerinden bir silindir kullanarak plaka cam haline getirilmesidir. Camın kalınlığını masanın iki kenarına yerleştirilen ve üzerinde cam hamurunu yayan yuvarlandığı iki metal çita belirler (Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s.29).

Günümüzde üretilen çok çeşitli renkli plaka camlar da mevcuttur (Görsel 3.3.), bunların çoğu vitray çalışmalarının üretilmesine yönelik olsa da füzyon ve çökertme tekniklerinde de kullanılır. Çoğu renkli plaka camlar silindir tekniği veya makinelerde çekilir. Renkli plakalar yüzdürme tekniği ile üretilmediğinden dolayı renkli camın kalay tarafını test etmeye gerek yoktur. Ayrıca kalınlığında doğal değişiklikler gösteren "antika" cam olarak bilinen elle biçimlendirilmiş renkli plaka camlar da bulunur. Renkli camlar, şeffaf, opak, çizgili, kıvrımlı (veya yarı opak), yanardöner ve dokulu formlara sahiptir. Bu plaka camlar kendi başına kullanıldıkları sürece ve aynı üreticiden yapılmış

olanlar füzyon tekniğinde kullanılabilir. Bir camın, diğer camlarla uyumluluğu test edilerek kullanılmalıdır.



Görsel 3.3. Renkli Plaka Camlar
(Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s. 29).

Ayrıca füzyon tekniği için uyumlu cam çeşitleri de mevcuttur. Bunlar, tüm çeşitleri imal edilmiş ve test edilmiş camlardır, böylece herhangi bir renkli cam plaka, herhangi bir dekoratif cam tozu, granül vs. ile uyumluluk sorunu olmaksızın füzyon olabilir. Üretici firmalar belirtmedikçe camlar birbiriyle uyumlu olamayabilir.

Füzyon tekniği ile çalışanlar için ABD'deki Bullseye firması, birkaç yıl boyunca renkli plaka cam ve farklı formlarda birbiriyle uyumlu camlar üretmiştir. Schott firması da, 94×10^{-7} 'lik bir genleşme katsayısı ile endüstriyel olarak üretilen renkli plaka cam üretmek için bu pazara girmiştir. Bu üretilen camlar, stüdyo cam üflemede kullanılan şeffaf camların çoğu ile uyumlu olma avantajı sunmuştur. Schott'tan gelen bu malzemeye “Artista” cam adı verilmiştir. Bu camlar devitrifikasyona karşı dirençli olarak tasarlanmıştır, 1800 x 1500 mm boyutlarında ve 2,5 mm'den 3 mm'ye kadar

standart kalınlıkta plakalar mevcuttur. Kabarcıklar ve çizgilerden arındırılmış olup kesimi nispeten kolaydır (Bray,2001, s. 29).

3.1.1.3. Yüzdürme yöntemi (float)

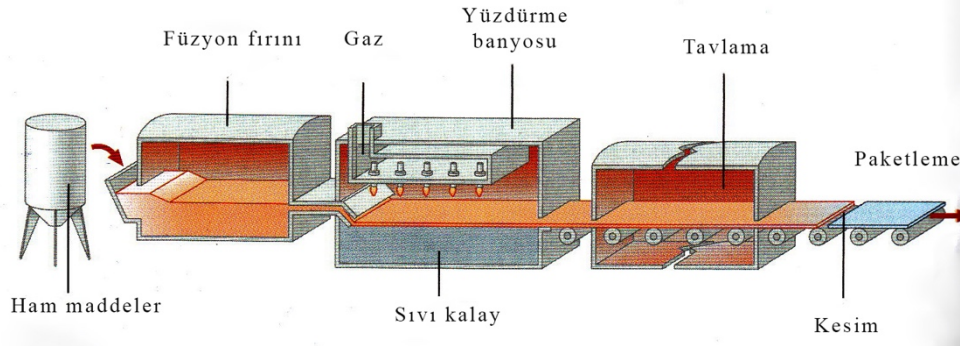
Füzyon Tekniğini uygulamaya yeni başlayan kişiler tarafından kullanılan camlardan biri *float glass* yani pencere camlarıdır. Bunun nedeni, hazır bulunması, herhangi bir camcıdan temin edilebilmesi ve çok ucuz olmasıdır. Saydam bir camdır ve dünya çapındaki pazarda az talep olması nedeniyle renkli pencere camları üretilmemektedir. Pürüzsüz yüzeyi ve kenarından bakıldığında yeşil renginden dolayı kolayca tanımlanır. Float cam- pencere camı, temel bileşiminde soda-kireç içerir ve nispeten basit bir cam biçimidir, pencere camı oldukça serttir ve bu nedenle yumuşaması daha uzun süre alır. Bundan dolayı fırınlanma süresi uzun ve daha yüksek sıcaklığa ihtiyaç duyulur. Pencere camının üretilmesinde 'float' (yüzdürme) tekniği nedeniyle sıvı kalay üzerinde yüzdüğü için az miktarda kalay oksit camın bir tarafına temas eder camın tek yüzeyi 'kalay yüzeyi' olarak bilinir.

Kalaylı yüzey fırındığında cam yüzeyinde dumanlı veya bulanık bir etkiye neden olabilir, ancak her zaman geçerli değildir ve fırındaki koşullar ve ateşleme sıcaklığı ile ilişkilendirilebilir. Bu etkiden kaçınmak için, kalaylı tarafı fırın rafında aşağıya bakacak şekilde olmalıdır. Fırınlanacak camlar katmanlar halinde ise de kalaylı yüzeyler aşağı doğru yerleştirilmelidir. Kalay tarafı çıplak gözle görülemez, ancak mor ötesi ışıkla tespit edilebilir. Parmağınızla camın yüzeyini hissederek kalay varlığını algılamak biraz zor olsa da mümkündür- kalaylı tarafı daha pürüzlü olacaktır. Bazı insanlar camı bir bezle ve biraz suyla temizledikten sonra kalaysız yüzeyin gıcırdadığını iddia etmişlerdir. Ancak her iki yöntem de öznel ve değerlendirilmesi zor olduğu için UV lambası daha güvenilirdir (Watkins-Baker, 2010, s.46).

Sanatçılar önemli cam tekniklerini yeniden keşfederken, seri cam üretimindeki gelişmeler savaştan sonra gerçekleşmiştir. 1959 yılında Alastair Pilkington–pencere camı üretimiyle ilgili parlak bir fikir geliştirmiştir. O yıllarda deforme olmamış cam için yüksek bir talep vardır çünkü o dönemde plaka camının üretim yönteminden dolayı cam yüzeyinde silindirmeden kaynaklı deformasyonlar oluşmaktadır. Ancak bu üretim şekli daha sonra rodajlama ve parlatma gerektirdiğinden dolayı, maliyetli ve uzun bir süreçtir. Pilkington bulaşık yıkarken su üzerinde tabağın yüzdüğünü izlerken, pencere camı oluşturmak için yüzdürme fikri doğmuştur. Fikri kusursuz hale getirmek için uzun

yıllar sürecek çalışmalar yapan Pilkington'un geliştirdiği yöntem şu şekilde uygulanır; eritme fırından sürekli cam kütlesi erimiş kalay havuzu yüzeyi boyunca yüzdürülür. Cam; düzensizliklerin giderilmesi ve yüzeyin düz ve paralel hale gelmesine yetecek kadar süre boyunca yüksek sıcaklıkta tutulur. Sıvı kalay, camın üst yüzeye çıkması için yeterince yoğundur ve yüzeyi çok pürüzsüz ve düzdür, böylece cam düzleşir ve pürüzsüzleşir. Camın alt yüzeyinde makaraların çizgileri olmadan kalay havuzundan alınabilmesi için, sıvı kalay üzerinde kademeli olarak soğutulur ta ki yüzeyi sertleşene kadar (yaklaşık 600 ° C'de). (Sıvı kalay 230 ° C'ye ulaşana kadar katılaşmaz). Böylece bir cam sabit kalınlıkta, parlatma ve rodaj gerektirmeden şeffraf ve ısıl parlatma yapılarak üretilmiş olur (Görsel 3.4.). Bu süreç dünyadaki en önemli endüstrilerden biri haline gelmiştir (Watkins-Baker, 2010, s.22).

1959'da piyasaya sürülen devrim niteliğindeki Pilkington float cam üretim süreci bugün dünyadaki hemen hemen tüm düz camların üretiminde kullanılmaktadır. Bir float cam fabrikası durmadan 12 yıla kadar sürekli çalışabilir ve neredeyse otomatik olarak 50.000 mil (80.000 kilometre) yüksek kaliteli düzcam üretebilir (http-13).



Görsel 3.4. Pencere Camı Üretim İşlemi
(Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s.28).

3.1.2. Farklı form ve etkideki camlar

Füzyon tekniği için uyumlu, plaka camlara ilave etmek için ya da tek başına kullanılmak üzere üretilen birçok dekoratif cam çeşiti bulunmaktadır. Bunlar frit, toz, çubuk, kırılmış camlar ve dikroik camlardır.

Çubuk camlar (Görsel 3.5); İngilizcesi *Stringers* olan yani ince spagetti benzeri cam çubuklardır; uzunluğu isteğe göre kesilebilir ayrıca alevde şekillendirilerek de

kullanılabilir. Bunlar genellikle Füzyon Tekniğinde cam parçalarının üzerinde dekoratif elemanlar olarak kullanılır. İnce boyutları nedeniyle, bir mumun ısını kullanarak da bükülebilir. Dokuma kumaşa benzer bir görünüm yaratmak için düzenlenip ısı işlem uygulanabilir. Şalümo kullanarak, küçük parçacıkları aleve sokup pense ile çekerek iplik camları üretilebilir.



Görsel 3.5.- Çubuk Camlar

(<https://www.warm-glass.co.uk/2mm-mixed-transparent-and-opal-bullseye-glass-stringers-p-935.html>) (Erişim Tarihi: 10.01.19)

Konfeti (Görsel 3.6); düzensiz şekilli, plaka camların üzerine yerleştirilip tasarım ögesi olarak kullanılan çok ince cam yapraklarıdır. Ticari olarak üretilebilir (Bullseye kendi kırıntılarını *confetti* adı altında pazarlar) fırında yapılabilir ya da geleneksel olarak üfleme yoluyla da üretilebilir.



Görsel 3.6. Konfeti

(<https://shop.bullseyeglass.com/accessory-glass/confetti.html>)

Tozlar ve fritler (Görsel 3.7.); tozdan taneli forma, küçük yumrulara kadar çeşitli derecelerde ezilmiş camlardır; dekoratif renk geçişleri yaratmak için kullanılır.

Genel olarak kilo ile satılır ve tane büyüklüğüne göre sıralanır. *Bullseye* ve *Uroboros* gibi iki büyük firma frit üreticisidir ancak friti satın almanın yanı sıra, plaka hurda camları fırında ısıtarak ya da camı parçalara ayırmak için bir çekiç kullanarak da üretilir.



Görsel 3.7. Tozlar ve Fritler

(<https://shop.bullseyeglass.com/accessory-glass/frit-powder.html>) (Erişim Tarihi: 10.01.19)

Dikroik Cam (Görsel 3.8.); ilk olarak NASA tarafından, uydular ve uzay gözlüğü siperliklerindeki optik merceklerde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Cama ilginç optik özelliklerini veren çok katmanlı metal oksitlerle kaplanmış plaka camlardan yapılır. Metal oksitler özel bir bölgede buharlaştırılır ve buhar hava ile sürüklenir ve kristal yapı şeklinde camın yüzeyine yapışır. Cama birçok kaplama uygulandığında, camın yüzeyinde renkler görülür. Işık cama çarparken, kaplamalardan geçer ya da kaplamalar tarafından yansıtılır. Bu camın farklı açılarda görüntülendiği gibi değişen bir dizi renk görülmesine neden olur. Kullanılan metal oksitler, silisyum, magnezyum, zirkonyum, alüminyum, krom, titanyum, gümüş ve altından türemiştir. Dekoratif bir malzeme olarak dikroik cam füzyon uygulamalarında da kullanılır ve düz cam üzerine kaplanmış oksit tabakalardan yapıldığı için, farklı camlarla da uyumluluk gösterir (Watkins-Baker, 2010, s.50).



Görsel 3.8. Dikroik Camlar

(https://www.warm-glass.co.uk/dichroic-strips-on-black-glass-p-5637.html?cPath=1_25) (Erişim Tarihi: 10.01.19)

‘İki renk’ anlamına gelen Dikroik, bir rengi yansıtırken başka bir rengi ileten olağandışı özelliği olan cam çeşididir. Dikroik cam üzerindeki kaplama kırılğan olabilir ve bazı çeşitleri fırınlanmadan önce çizilebilir, ancak fırınlandıktan sonra dikroik kaplama genellikle dayanıklıdır kazıma veya normal bir elle temas kaplamaya zarar vermez.

Amerika’da bulunan Coating by Sandberg (CBS) firması plaka cam, üç boyutlu objelerde dahil olmak üzere birçok farklı şekil ve boyuttaki camları dikroik kaplama yapmaktadır. Cam sanatında örneğin; üfleme, alevde şekilendirme, füzyon, çöktürme gibi farklı tekniklerde kullanılmak üzere dikroik cam üretmektedir (http-14).

3.2. Cam Füzyon Tekniğinde Kullanılan Başlıca Malzeme ve Aletler

Cam füzyon tekniğini uygulamak için bazı temel ekipmanlara ihtiyaç duyulur. Füzyon için belki de en önemli ekipman bir fırındır. Fırının yanında diğer yardımcı malzemelere de ihtiyaç duyulur; bir fırın rafı, raf astarı ve ısıya dayanıklı eldivenler gibi... Bu alet ve malzemelere ek olarak, uygulanacak projeye göre boyut kazandırmak için kullanılabilecek başka malzemeler ve aletlerde vardır. Bunlar; cam kesim aletleri, cam boya ları, destek malzemeleri ve güvenlik donanımlarıdır.

3.2.1. Kesim aletleri

Geleneksel cam kesme yöntemi hep aynı prensibe göre çalışır: bir kesme aleti ile bir kesim çizgisi oluşturup daha sonra camı kırmak için az miktarda yağ ve el kuvvetini kullanmak. Kenarlar keskin olur ve parmaklar genellikle kesilebilir. Karmaşık eğrileri kesmek birkaç denemeyi gerektirir ve dar açılara kolayca ulaşamaz. Şekillerin içindeki diğer şekillerin manuel olarak kesilmesi zor ve zaman alıcıdır; cam sanatçıları, füzyon tekniğinde farklı formları bir araya getirerek ve birleştirerek proje oluşturmalarının yollarını ararlar. Sonuç olarak bir şekil elde etmek için çeşitli makinelerin ve el aletlerinin kullanılması gereklidir (Cutler, 2012, s. 26).

Cam kesimi için elle kullanılan elmasların dışında elektrikle çalışan testereleler yani elmas kaplı ve su ile beslenen bir şerit testere gibi cihazlar da kullanır, bu da bir dış şekil kesmeye olanak tanır, ancak kesebileceği şekil, boyut ve kalınlık açısından sınırlıdır. Ticari kesim ve işleme şirketlerinde, elmasla kaplanmış testereleler, diskler, otomatik kesme makineleri bulunur (Cutler, 2012, s. 26). Füzyon tekniğinde tatmin edici projeler yapabilmek için kesim ve aynı zamanda beceri de önemlidir. Farklı tipte birçok cam kesim aleti bulunmaktadır.

Dairesel kesici (Görsel 3.9.) (*Cutting compass*); kavisli kesimler ve daireler yapmak için kullanılır, bir ucunda bir vantuz ve diğerinde hareketli bir kesici ile bir kare ekseninden oluşur. Vantuz, aletin ucunu yerinde tutmak için bir neme sahiptir. Ölçümler, metal eksenin üst yüzeyinde bulunan cetvel sayesinde istenen uzunlukta ayarlanır (Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s.44).



Görsel 3.9. Daire Kesici

(<http://www.hasal.com.tr/dokumanlar/300-DAIRE%20OVAL%20VE%20ŞEKİL%20KESME%201603.pdf>)(Erişim Tarihi:10.01.19)

Elmaslar (Görsel 3.10 - A,B)- El ile kesimde yaygın olarak kullanılır, yağ depolu türleri de bulunmaktadır. Yağ depolu elmaslar üstünde bir tıkaçın çıkarılmasıyla

doldurulabilen bir yağ haznesine sahiptir. Kullanıldığında, elmastan hafif yağ sızar. Bazı elmasların hazneleri şeffaftır, bu da yağ seviyesini kontrol etmeyi kolaylaştırır.

Kırma pensesi (Görsel 3.10- C)- Çubukları ve küçük cam parçalarını kırmak için kullanılan bu alet sertleştirilmiş çelikten yapılmıştır ve bir penseye benzeyen iki tekerlek biçiminde kesici uca sahiptir.

Füzyon uygulamalarında cam kesicilere ek olarak başka aletler de gereklidir. Örneğin penseler; bir noktaya baskı uygulamak ve camı daha kolay çatlatıp kırmak için kullanılır. Penselerin çeneleri hafif bir eğriye ve pense üst kısmını işaretleyen bir çizgiye sahiptir. Bunları kullanmak için önce camı kesmek, ardından pensenin işaretlenmiş noktasıyla camın kesilmiş çizgisi aynı hizaya getirilmelidir. Pense yavaşça sıkılır, böylece cam çizgiden ikiye bölünerek kırılır. Cam kesimi için farklı pense çeşitleri vardır; Bunlar, küçük cam parçalarının veya fazla kavislerin kırılması için kullanılır.



Görsel 3.10. A-Hazneli Elmas, B-Elmas, C- Kesme Pensesi, D- Penseler
(Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s.44).

Kesim teknolojisinin geliştirilmesinden önce, hem ticari olarak hem de stüdyo içinde camın kesilmesi için manuel yöntemler kullanılmıştır ve kullanılmaya da devam etmektedir. Elmaslar Rönesans'tan beri camları kesmek için kullanılmaktadır ve günümüzde de hala elmas aletler kullanılmasına rağmen bunlara ek olarak farklı kesim yöntemleri geliştirilmiştir.

Elmas testere, füzyon tekniğine başka bir boyut ekleyebilir. Önceden füzyon olmuş parçalar kesilerek, yeniden tasarlanarak tekrar füzyon olabilir. Elmas şerit testereler, iç kısımlardaki dar eğrilerin ve karmaşık şekillerin kesilmesine olanak sağlar.

Klaus Moje'nin çalışmaları, testereyle kesim işlemleri ve son füzyon parçayı istenen şekilde kesmeyi de içermektedir. Elmas testerenin metal bıçağı camdan daha sert olan elmas tanecikleri içermektedir, böylece camı aşındırarak kesim sağlanır. Elmas testereler; dairesel testereler ve şerit testereler olmak üzere çeşitlenir (Lundstrom,1983, s.96).

Diğer kesim yöntemlerinin yanında bugün Lazerle kesim yöntemi; işlemler ve füzyon tekniği uygulamalarında sıkça kullanılmaktadır. Lazer kesim ile elle kesim arasındaki ana fark, lazer kesimin düz bir kesit oluşturup cildi kesmeyecek veya zarar vermeyecek bir kenar oluşturmasıdır. Lazer kesim teknolojisi ve tekniklerinin geliştirilmesiyle sanatçılar, elle kesim tekniklerinden daha temiz, kolay ve doğru şekilde karmaşık kesimler yapabilmektedir. Lazerle cam kesme, çizilme riskini de en aza indirir. 1990'lü yıllarda lazer ile kesimde sadece düz hatlar rahatlıkla kesilebiliyorken, lazer kesim teknolojisinin ilerlemesiyle cam sanatçıları için, kesimden kazımaya-gravüre kadar çeşitli olanaklar genişlemiştir (Cutler, 2012, s. 56).

Günümüzde füzyon uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaya başlayan diğer bir yöntem de su jeti (*Waterjet*) kesim teknolojisidir, cam kesmek için mükemmel bir yöntemdir, çünkü diğer kesim aletleri ya da makineleriyle elde edilemeyen konturlar ve şekillerin elde edilmesini sağlar. Sanatsal uygulamalardan detaylı vitray tasarımlarına, aynalardan, cam süslemelerine ve daha fazlasına, su jeti kesim makinesi ile daha hızlı ve pürüzsüz bir kesim yapmak mümkündür.

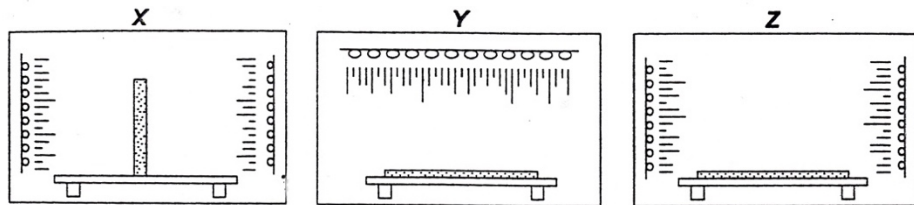
3.2.2. Fırınlr

Cam şekillendirmek için tasarlanmış birçok fırın çeşidi bulunmaktadır. Bir fırın, büyük termal denge ve yalıtım sağlayan seramik fiberlerden yapılmış duvarlar ve bunu dıştan çevreleyen metal bir konstrüksiyona sahiptir. Fırının iç yüzeylerinde, yarı saydam kuvars tüplerin içinde düzenlenmiş ısı elemanları bulunmaktadır. Bunlar ısı ışıınımını artırır ve kolayca değiştirilebilir (Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s.49). Bazı fırın tiplerinde ısı elemanı olarak kuvars tüp yerine kanthal teller kullanılır. Teller elde edilmek istenen sıcaklığa göre çeşitlenmektedir.



Görsel 3.11. *Elektrikli Flatbed Fırın*
Kaynak: Fotoğraf Çiğdem Yurtseven Çicek tarafından çekilmiştir.

Füzyon Tekniği ve çöktürme için kullanılan fırınlar, genellikle yüksek olmaktan ziyade düz bir taban alanına sahiptir ve ısı elemanları tek yönden olacak şekilde kapağa monte edilmiştir. Diğer taraftan bir kalıpla şekillendirme fırını genellikle basit bir seramik fırınıdır ve yan duvarlardaki elektrik elemanlarıyla daha düz ve geniş bir taban alanı yerine yüksek ve derinliği olan bir yapıya sahiptir. Diğer önemli fark ise, ısıtma elemanlarının yeridir çünkü; üstten ısıtmalı fırınlarda camlar, yan ısıtmalı çeşidine göre dakikada yaklaşık yüzde beş daha hızlı ısıtılabilir. Cam Füzyon Fırınları maksimum ısı homojenliği elde etmek için üstten ısıtmalı olmalı ve sürecin gözlemlenebilmesi için ve çalışmaların istendiği şekilde tamamlanması için gözlem delikleri bulunmalıdır (Watkins-Baker, 2010, s.57). Bu bağlamda füzyon fırınlarında üstten ısıtmanın ısı emişinin dengeli bir şekilde yapılabilmesi için önemli bir avantaj sağladığını söylemek mümkündür.

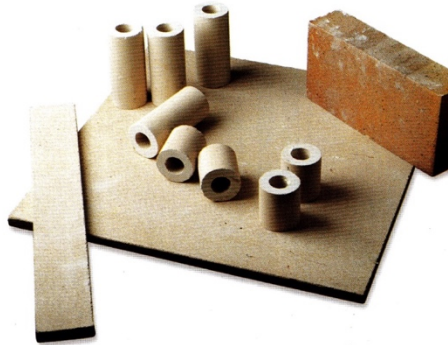


Görsel 3.12. -Isıtma Elemanlarının Yerlerine Göre Farklı Fırınlara (Stone, 1996, s. 32)

Yukarıda da değinildiği gibi fırının ısıtma elemanlarının konumu ve cam parçasının nasıl konumlandırıldığıнын ısıl işlem evrelerinde önemi büyüktür. Cam projesi sadece bir taraftan ısıtılıyorsa, her iki taraftan da ısıtılan camdan daha yavaş sıcaklık artışı gerektirir. Görsel 3.11.- "X" de, cam genel olarak her iki taraftan da ısı almaktadır, bu nedenle daha hızlı sıcaklık artışı mümkündür. Bu daha çok üfleme cam objelerin soğutma fırınlarının özellikleridir. Görsel 3.11.- "Y" de ise cam projesi ısıyı tek taraflı üstten almaktadır. Bu tarz fırınlarda, oluşabilecek termal şoku önlemek için sıcaklık artışı daha yavaş olmalıdır. Üstten ısıtmalı fırınlar daha çok füzyon tekniği uygulamaları için uygundur. Görsel 3.11- "Z" de, cam iki taraftan ısıyı almasına rağmen, camın üst kısmı eşit bir şekilde de ısıyı almamıştır. Camın kenarları ısıtma elemanlarına daha yakındır ve daha yavaş sıcaklık artışı gerektirir (Stone, 1996, s. 32). Özellikle bu pozisyonda yapılan füzyon uygulamalarında hızlı ısıl işlemler termal şok problemine sebep olur. Katlar arttıkça bu risk de artar.

3.2.3. Destek malzemeleri

Destek malzemeleri füzyon uygulamaları sırasında cam katmanlarının kaymasını engellemek ya da biçim oluşturmak için kullanılan refrakter malzemelerdir. Bu malzemeler ısıya karşı yüksek dirençli refrakter malzemelerden yapılmış destekler, oyuk silindirler veya kalın tuğlalar olabilir. Tuğlalar refrakter malzemedir ve daha gözenekli malzemedir yapılmış olanlara göre ısınmaları daha uzun sürer; buna ek olarak da daha büyük projeler için destekleyici görevi görürler. Refrakterlerin camla temas halinde olan yüzeylerinde ayırıcı da kullanılabilir (Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s.50).



Görsel 3.13. Destek Malzemeler
(Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s.50)

Tam füzyon için ısıl işlem uygulandığında 6 mm' den daha yüksek olan camlar, dışarı akacakları için, istiflenmiş cam, refrakter malzeme barajı ile çevrelenmelidir, aynı zamanda da bu malzemeye camın yapışmaması için ayırıcı uygulanması gerekebilir. Destekler için dört kenarda 25 mm kalınlığında sertleştirilmiş seramik fiber levhalar kullanılabilir. Diğer refrakter malzemeler; mullit refrakter raflarından kesilmiş şeritler, vermikülit levhalar, yumuşak tuğla, ateş tuğlası destekleri kullanılabilir. Desteklerin arkasında, ek desteğe ihtiyaç duyulursa ateş tuğlası gibi ağır, ısıya dayanıklı malzemelerle desteklenir (http-15). Bazı uygulamalarda camın destek duvarlarına yapışmasını önlemek için 1,5 mm kalınlığında seramik elyaf şeritler de kullanılabilir. Bu malzemeler yüksek ısıya dayanıklı olan refrakter malzemedan yapılmış olmalıdır.

3.2.4. Yardımcı malzemeler

Dijital ısı programlayıcısı, fırındaki camların ısıl işlemlerini yönetmeye yardımcı olan programlanabilir bir cihazdır. Aslında fırından sonraki en önemli ikinci ekipmandır. Bunların yanında fırının iç sıcaklığını doğru bir şekilde kontrol etmek ve görüntülemek için bazı araçlara ihtiyaç duyulur; bu genellikle fırın içindeki sıcaklığın hassas bir şekilde okunmasını sağlayan pirometre ile yapılır. Bu alet, belirli aralıklarla sıcaklığı arttırmak veya azaltmak için önceden programlanabilen ve camın ısıl işlem için tüm programlarını kontrol edebilen dijital ısı programlayıcısına bağlanır. Sık kullanılan ısıl işlem programları, cihazın hafızasına kullanıcı tanımlı bir program olarak kaydetmeye olanak verir (Watkins- Baker, 2010, s.60).



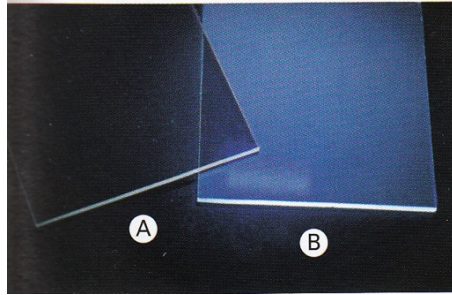
Görsel 3.14. *Dijital Isı Programlayıcısı*

Kaynak: Fotoğraf Çiğdem Yurtseven Çicek tarafından çekilmiştir.

Fırını çalıştırmanın en önemli kısmı kumandası yani programlamak ve ayarlamaktır. Bu programlama; ısıtma artışlarını, bekletme, tavlama ve soğutma oranlarının ayarlanmasını içerir.

İnceleme aletleri- Füzyon tekniğinde pencere camı ile çalışanlar için, camın hangi yüzeyinin kalay tarafı olduğunu bilmek yararlıdır. Çünkü kalaylı yüzey ısıtma işleminin ardından cam yüzeyinde dumanlı ya da bulanık bir etkiye neden olabilir. Bu etkiden kaçınmak için, kalaylı tarafı fırın rafında aşağıya bakacak şekilde olmalıdır. Fırınlanacak camlar katmanlar halinde ise de kalaylı yüzeyler aşağı doğru yerleştirilmelidir. Aynı zamanda kalaylı yüzey boya ve emaye ile olumsuz tepki verebilir. Kalaylı yüzeyin çökertme işlemlerinde konumlandırılması da önemlidir, çünkü kalaylı tarafının gerilen yüzeyde konumlanmasıyla daha iyi sonuçlar alınabilir. Kalayın varlığı insan gözüyle görünmez fakat floresanlı ultraviyole lamba ile tespit etmek mümkündür.

Bu dedektör, kalay tarafına yerleştirildiğinde ve camdan bakıldığında flüoresan (yani süt beyazı gibi) (Görsel 3.15 – B) bir parlama gözlenir. Kalaysız tarafta ise, camdan bakıldığında sadece menekşe renginde UV ışığı görülebilir, bunun nedeni kalaylı tarafın UV ışığını geçirmemesidir. Göze zarar verebileceğinden asla doğrudan bir UV kaynağına bakılmamalıdır. UV engelleyici güvenlik gözlükleri kullanılması önerilmektedir (http-16).



Görsel 3.15. Ultraviyole Lambası İle Test Edilmiş İki Pencere Camı (B) Kalaylı Yüzeyi Gösterirken, (A) Göstermez

(Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s.89).

Polarize Işık Lambası (*polariscope*)- karton veya plastik çerçeveye monte edilmiş bir polarizasyon merceği ve bu lamba, malzemelerde iç gerilmeleri gözlemlemek ve tanımlamak için kullanılır; aynı zamanda farklı cam türleri arasındaki uyumluluğu da gözlemlenebilir. Her tür camın uyumluluğu, şeffaf cam ile karşılaştırılarak belirlenir.

Farklı renklerle bu şeffaf camla birlikte, bu cama benzer bir stres gösteriyorsa, birbirleriyle uyumlu olmalıdır. Bunu bulmak için, bir parçada kullanılacak çeşitli cam türlerini içeren bir örnek alınır, eğer örnek altta kullanılan şeffaf cam ile uyumsuzsa, çok farklı koyu renkli, kıvrımlı şekiller ortaya çıkarken, uyumlu numuneler homojen gözüktür (Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s.47).

Yapıştırıcılar -füzyon tekniği uygulamalarında ısıtıl işleminden önce parçaları bir arada tutmak için önemlidir. Farklı yapıştırıcılar mevcuttur. Bunlardan en sık kullanılan okul tipi, Polivinil asetat (PVA) yapılan yapıştırıcılar, bir jel kıvamına sahiptir ve uygulaması kolaydır. Toksik değildir ve suda çözünür. Camda ısıtıl işleminden sonra kalıntı bırakmaz. Diğer yapıştırıcı; metilselüloz tutkal (sodyum karboksimetilselüloz), selüloz elyafından yapılmış, toksik olmayan bir yapıştırıcıdır. Bazı üreticiler buna silika ekleyebilirler. Camın kaymasını önlemek ve kalıp içinde koyulduğu şekilde kalmasını sağlamak için öğütülmüş camla karıştırılır. Üreticinin talimatlarını izleyerek, sıcak su ile karıştırarak bu tutkal hazırlayıp ardından da öğütülmüş cam eklenir. Yapıştırıcı fırında kül üretir ancak yaklaşık 620 °C’de tamamen kaybolur (Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s.43).

Temizlik malzemeleri- Camın temizlenmesi, ne kadar basit görünse de ısıtıl işleminden önce atılması gereken ilk adımdır istenmeyen sonuçlarla karşılaşılmasına engel olur.

Camdaki kir, toz parçacıkları veya ellerdeki yağlı artıklar, devitrifikasyona neden olabilir. Alkol veya Sirke temizlik için uygun malzemelerdir. Cam yüzeyi kağıt havlu yardımıyla alkol veya sirke ile temizlenebilir. Metil alkol, kalıcı kalem izlerinin çıkarılmasında çok etkilidir; ancak bununla birlikte, yüzeyde devitrifikasyona neden olabilecek hafif bir kalıntı bırakabilir (Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s.68). Öte yandan sirke kalıntı bırakmaz, insanlara ve çevreye zarar vermez. Bunların yanında bulaşık deterjanı da kullanılabilir, iyice duruladıktan sonra tamamen kurutulması gereklidir.

3.2.5. Cam boyaları

Cam üzerine resim ya da boyama yapmak farklı sıcaklık derecelerine sahip boyalar ve yöntemlerle camda resimsel etki arayışlarında uygulamacıların tercih ettikleri ifade yollarından biridir.

Cam boyama, genellikle geleneksel vitray sanatçıları tarafından çizilen, gölgelendirilmiş figür, kumaş kıvrımları ya da sadece ton değişiklikleri elde etmek için vitrayın iç yüzeyine genellikle koyu veya açık kahverengi renkte su-zamk bazlı renk uygulamaları için kullanılan bir terimdir. Kağıda suluboya uygulamasına benzer şekilde uygulanır (Bray, 2001, s.180). Geleneksel vitray boyaları bir fırında ısıyla sabitlenir. Bu teknik daha çok boyamadan çizim yapmaya daha yakın olan bir resimlemedir, başlangıçta geleneksel kurşunlu vitray tekniği ile eklenemeyen detaylı çizimleri; yüz ve kıyafet kıvrımları gibi detayları eklemek için uygulanmaya başlanmıştır. Vitray boyama için kullanılan cam boyaları ağırlıklı olarak kahverengiler ve gri-siyahlardır. Çoğu durumda, bu boyalar cam üzerinde ısıl işlem uygulanarak kalıcı olarak bağlanmalarına olanak verir (Walker, 2010, s.108). Geleneksel vitray boyaların çeşitleri arasında trace paint, matte paint (mat boya) ve gümüş boyası bulunur. Bunların çoğu yaklaşık 600 – 675 °C’de çalışma sıcaklığı gerektirir (Walker, 2010, s.108).

Cam üzerine yapılan baskı ya da resim işlemlerinin çoğu, kağıt üzerine yapılan yöntemlere çok benzerdir. Ancak, kullanılan renklendirici boyalarda önemli farklılıklar vardır. Cam üzerine yapılan uygulamalar için kullanılan boyalar cam dekor boyaları olarak adlandırılır, genellikle toz pigment formunda bir renklendirici ve medyumdan oluşur. Solvent bazlı veya suyla karışabilen medyum, boyama sırasında renk için taşıyıcı görevi görür. Medyum yanarken, renklendiricinin kalması ve ısınin etkisiyle cam benzeri bir malzemeye dönüşür (Petrie, 2006, s.29). Cam dekor boyaları; emaye boyaları ve seramik sırüstü dekor boyalarıyla yaklaşık olarak aynı sıcaklık aralığında (800°C civarı) gelişir. Cam dekor boyalarının ayrıca kabarcıklı türleri de bulunmaktadır.

Füzyon uygulamalarında yaygın olarak kullanılan renklendiriciler arasında emayeler gelir. Emayeler, renklendirici madde olarak metalik oksitler içeren nispeten düşük ısıl işlem gerektiren cam fritlerdir; bunların toz veya macun formunda olanları mevcuttur. Toz formunda olanlar medium ile karıştırılarak baskı, resimleme ve püskürtme gibi uygulamalar için kullanılabilir (Petrie, 2006, s.29). Emayelerin opak ve saydam formları mevcuttur. Bu durum, pişirim sonrası etkisi ile ilgilidir. Şeffaflığı arttırmak için opak emayelere şeffaf fluks (transparent flux) eklemek mümkündür. Düşük-pişirim; cam emayeleri, için kullanılır yaklaşık 550-650 °C ve ‘seramik emayeleri’ için yüksek-pişirim 750-850 °C aralığındadır. Bununla birlikte, cam dünyasında ‘seramik emayeler’ terimi bazen bütün emayeleri tanımlamak için de kullanılır. Bu nedenle, düşük pişirim aralığı “cam emayeler” ve yüksek pişirim aralığı

“seramik emayeler” olarak tanımlanmaktadır. Emaye seçerken ve alırken akılda tutulması gereken pişirim sıcaklığının amaçlarınıza uygun olup olmadığının kontrol edilmesidir (Petrie, 2006, s.30). Her iki boya türü de cam üzerinde pişirilir. Her iki boyama türünü de etkileyen, ancak emayede daha fazla karşılaşılan bir problem olan yüksek sıcaklık pişirimde renk değiştirmesidir. Selenyum-kadmiyum esaslı renkler en zor olanıdır, şeffaf ve yoğun kırmızı ısı işlem sonucu opak turuncu ve hatta gri-siyaha değişen bir renkle karşılaşma olasılığı yüksektir. Amber türevi renklerin bazıları önemli ölçüde kararabilir. Öte yandan, çoğu maviler ve yeşiller nispeten değişme göstermemektedir. Renk değiştirebilecek ya da uyumsuzluk sorunları yaratabilecek boyaları camlar üzerinde test yapmak önerilmektedir (Bray, 2001, s.180).

3.2.6. Güvenlik ve koruyucu malzemeler

Güvenlik, camla çalışmanın en önemli konusudur ve her zaman uyulması gereken kuralları içerir. Üretimin tüm aşamalarında, özellikle kimyasal maddelerin kullanılması, depolanması ve atılması söz konusu olduğunda, ilk öncelik kendimizi korumak olmalıdır. Atölye, yangın söndürücülerle donatılmalı ve acil durumlarda kolayca bulunabilecek ve kullanılacak bir şekilde yerleştirildiğinden emin olunmalıdır. Aynı zamanda periyodik bakımları ihmal edilmemelidir. İlk yardım çantası da bir atolyenin demirbaş listesinde olması gereken öğelerinden bir tanesidir ve erişilebilir bir yerde konumlandırılması önemlidir.

Atölyede bulunan örneğin fırınların ya da diğer elektronik aletlerin teknik ve güvenlikle ilgili sayfaları saklanmalıdır; Atölyedeki diğer kişilerin tehlikeli maddeler yaratan tehlike sembollerinin ne anlama geldiğini ve bunları kullanırken izlenecek yolları önceden bilgilendirmekte yarar vardır.

Güvenli fırın kullanımı için;

- Üretici firma tarafından sağlanan kılavuzu ve diğer bilgileri tamamen okunmalıdır.
- Fırın iyi havalandırılan bir alanda kullanılmalıdır. Füzyon pişirimlerinde astarlı rafların üzerindeki camlar duman çıkarmaz, ancak elyaf, emaye, sır ve diğer malzemeleri içerirse duman çıkarabilir.
- Koruyucu elbise giyerek yanıklardan kaçınılmalıdır. Sıcak bir fırın açılırken ısıya dayanıklı eldiven kullanılmalıdır.

- Sıcak bir fırında işlem yapmadan önce elektrik bağlantısını kesilmelidir (cam taraklama veya başka manuel şekillendirme sırasında).
- Gözler korunmalıdır. Sıcak bir fırına uzun süre bakıldığında gözleriniz kızılötesi ışığa maruz kalabilir. Aşırı maruz kalma katarakta neden olabilir. Koruyucu ANSI renk gölgeli 1,7 lensli güvenlik gözlükler kullanılmalıdır. Alevlenme şekillendirme için kullanılan Didymium camları kızılötesi ışığa karşı koruma sağlamaz (http-18).

Atölyede çalışırken kişisel korunma için bazı malzemelere ihtiyaç duyulur. Temel malzemeler: Güvenlik gözlükleri; yanlarda koruyucu siperleri olmalıdır. Solunum maskeleri; belirli bir işlem onaylı; duman, buhar veya toz hapsi için, ısıya dayanıklı eldivenler, pamuklu eldiven; cildi tahriş edici tozlardan veya liflerden korumak için, yara bandı- ilk yardım çantası; cam keserken ya da kullanırken oluşacak yaralanmalar için (http-18) son derece gereklidir.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

4. FÜZYON TEKNİĞİ UYGULAMALARINDA YAYGIN KARŞILAŞILAN PROBLEMLER VE ÇÖZÜM YOLLARI

Füzyon tekniği uygulamalarında o kadar çok değişken faktör vardır ki, bu noktada teknik ya da diğer problemlerle karşılaşmak kaçınılmazdır. Fırın açıldığında tahrip olmuş bir cam projesi ile karşılaşmak olasıdır. Şekil bozuklukları, çatlaklar, kabarcıklar, devitrifikasyon, yabancı cisimler ya da olası diğer etkenler hayal kırıklığı yaratan faktörlerden bazılarıdır. Problemler kaçınılmazdır ancak oluşmaması için ya da bazı problemleri aza indirmek gibi çözüm yolları mevcuttur. Bu bölümde yaygın karşılaşılan problemler; ısıtma evrelerinde karşılaşılan problemler ve diğer problemler ve çözüm yolları olmak üzere iki genel başlık altında incelenmiştir (Tablo 4.1). Ayrıca bu tez çalışması kapsamında yaygın karşılaşılan problemler ve çözüm yollarında verilen değerler için Bullseye camlarının ısıtma değerleri kullanılmıştır. Bullseye’ın bugün Dünyadaki en büyük füzyon camı üreticileri arasında olması ve literatürdeki pek çok kaynakta referanslarının bulunması bu tercihin en temel gerekçeleridir.

Tablo 4.1. Füzyon Tekniği Uygulamalarında Karşılaşılan Problemler



4.1. Isıl İşlem Evrelerinde Karşılaşılan Problemler

Füzyon tekniği uygulamalarında karşılaşılan yaygın sorunların birçoğu ısıtma evrelerinde oluşmaktadır. Bu etkilerden kaçınmak için veya onları çalışmanın bir

parçası haline döndürmek için ısıtım işlem evrelerinin nasıl kontrol edileceğini bilmek gerekir. Bu anlamda fırın programları bu kontrolün sağlanmasında önemli unsurlardan biridir. Füzyon tekniği uygulamalarında ısıtım işlem evreleri dışında sonucunu etkileyebilecek birçok koşul ve değişkenden bahsedilebilir. Örneğin, her fırın farklı ısınır ve bu aynı modelin iki fırını için bile geçerlidir. Diğer faktörler bunlarla sınırlı olmamak üzere şunları içerir, camın türü, fırına yerleştirilme, termokuplun türü ve yeri, camın kaç kez ısıtım işleme girdiği gibi... (http-5).

4.1.1. Ön Isıtma evresinden maksimum çalışma sıcaklığına kadar karşılaşılan problemler

Bu evre oda sıcaklığından kullanılan camın tavlama sıcaklığına kadar ki süreyi kapsamaktadır. Bu evrede karşılaşılan en yaygın problem; ısıtım hızından kaynaklı çatlamalar ve hava kabarcığı oluşumlarıdır.

4.1.1.1. Çatlaklar

Cam zayıf bir iletken olduğundan dolayı ısınması için zaman gereklidir, hızlı ya da yavaş ısıtım hızı büyük ölçüde camın kalınlığına, büyüklüğüne göre ayarlanır. Deneyimler, sıcaklık arttıkça kırılma riskinin azaldığını göstermektedir. (Stone, 1996, s.20). Camın ısıtılmasındaki ilk kısıtlama, termal şoktan doğacak çatlamaları tolere edebilecek ısıtım hızıdır.

Cam yaklaşık 454 °C sıcaklığa ulaşınca kadar, çok hızlı veya düzensiz ısıtıldığında termal şoka maruz kalıp çatlayabilir (http-5). Camı ikiye, üçe ve hatta daha fazla parçaya bölen kuvvetle oluşabilecek bu çatlaklar, termal şoktan kaynaklanır. Bunlar termal şok çatlaklarıdır. Termal şok çatlakları; camın bir kısmı, diğer bir parçasına göre daha hızlı genişlediğinde (ısınırken) veya büzüldüğünde (soğurken) meydana gelir. Genleşme oranlarındaki bu fark camın çatlamasına neden olur (Tablo 4.2). Cam yaklaşık 537°C 'ye ulaştıktan sonra çatlamaz, çünkü cam bu sıcaklığın üzerinde, bir katıdan çok bir sıvı gibi davranır (http-19). Bu nedenle oluşan çatlakların parçalarının kenarları yuvarlanır çünkü çatlama (genellikle 150- 260°C arasında) ısıtım işlem evresinin erken döneminde gerçekleşmiştir. Termal şok olmaması için ısıtım işlemin ilk aşamasında (600 °C'nin altında) ısı artışı daha yavaş olmalıdır (Walker, B. 2010, s.93).

Tablo 4.2. Isıl İşlem Evresinde Camın Davranışı (538 °C altında)

(https://www.bullseyeglass.com/images/stories/bullseye/PDF/TechNotes/technotes_04.pdf) (Erişim

Tarihi:13.04.18)

538°C Altında	Nasıl görünür?	Fiziksel olarak ne olur?	Isıl işlem süreçleri
	1 Katman 3 mm (1/8") 2 Katman 6 mm (1/4") 3 Katman 9 mm (3/8") 1. Katman: Sert, kenarları keskin ve görünen hiçbir değişiklik yok. 2 ve 3 Katmanlar: Yukarıdakilerle aynı	Cam genleşme katsayısı oranında genişir ya da büzülür. Yaklaşık (454°C) altındaki termal şoklara maruz kalabilir.	(482°C) üzerinde tavlama gerçekleşir.

Ön ısıtma evresinde aynı zamanda kurutma ve yabancı gazların yüzeyden uzaklaştırılması işlemlerinin de yapılabildiği bir süreçtir. Plaka cam kullanımında nemden dolayı (kalıptan ya da ayırıcıdan kaynaklı) çatlama meydana gelebilir. İlk olarak, camın alt kısmında yoğunlaşarak düşük sıcaklıklarda çatlamasına neden olur (Stone, 1996, s.20). Bu neden nemden kaynaklanan çatlamalara engel olmak için kalıplar için ön ısıtma ve kurutma işlemi uygulanmalıdır. Ön ısıtma ve kurutma işlemlerinde genellikle suyun kaynama noktasının altında (85 °C) bekleme yaparak kurutma işlemi uygulanır. Bu aşamada fırın hava tahliye kapakları açık olmalıdır.

4.1.1.2. Hava kabarcığı

Oluşan hava kabarcıklarından çoğu ısıl işlem döngüsünün doğrudan bir sonucudur. Cam çok hızlı bir şekilde ısıtılırsa, geniş parçaların kenarları iç kısımlara göre daha önce yumuşayıp kaynaşabilir. Bu kenarların kaynaşması ya da yapışması, tabakalar arasındaki havanın hapsolmesine ve kabarcık oluşmasına sebebiyet verebilir. Isıl işlem döngüsünde fırın programında ön ısıtma sürelerini uzatmak ya da deformasyon noktasında bekleme yapmak bu hatayı gidermek için katkı sağlayabilir. Örneğin 6 mm'lik (Bullseye cam ile) bir proje için, 621-677 °C sıcaklıkta 15-45 dakika bekletmek gibi (Tablo 4.3). Bu sıcaklıkta, cam hareket etmek için yeterince yumuşar,

ancak füzyon için yeterli bir sıcaklık değildir. Böylece, üst katman, plakalar arasındaki havayı sıkıştırarak yanlardan çıkmasına olanak sağlar. Benzer şekilde, hızlı ısıtma evresinde, hızlı bir artış yerine saatte 222 °C ile çıkmak kabarcıkların sayısını ve boyutunu azaltabilir (http-20).

Tablo 4.3. Isıl İşlem Evresinde Camın Davranışı (538°-677 °C)

https://www.bullseyeglass.com/images/stories/bullseye/PDF/TechNotes/technotes_04.pdf (Erişim Tarihi:13.04.18)

538°–677°C	Nasıl Görünür?	Fiziksel olarak ne olur?	Isıl işlem süreci
 1 Katman 3 mm (1/8")	1 Katman Kenarlar yumuşamaya ve yuvarlanmaya başlar.	Cam yumuşamaya başlar ve katı bir sıvı gibi hareket eder, ancak orijinal şeklini korur.	Çoğu boya ve emaye bu sıcaklıkta yapılır.
 2 Katman 6 mm (1/4")	2 ve 3 Katmanlılar: (Yandaki gibi.)	Cam katı gibi davranıp sıvı gibi davranmaya geçiyor; Dönüşüm aralığı olarak da bilinir	Sıcaklık aralığının son noktasında bekletilirse Bullseye cam bükülür veya çöker.
 3 Katman 9 mm (3/8")	Katmanlar birbirine yapışmış gibi görünür.		621°- 677°C aralığı, cam katmanları arasındaki havayı almak için sıklıkla kullanılır, bu aralıkta bitmiş parçanın hava kabarcık sayısı ve boyutu azalır.

Aynı zamanda bir fırın rafındaki nem, ısınırken buhara dönüşür ve bu buhar, sıcak havadan daha hızlı hava kabarcıkları yaratabilir. Isıl işlemden önce fırını 260° C kadar ısıtıp, 20 dakika boyunca bu sıcaklıkta tutarak fırın rafının tamamen kuru olduğundan emin olunmalıdır. Ayırıcı yerine seramik elyaf kağıt kullanılması, camın altında sıkışan nemin gözeneklerinden daha rahat dışarı çıkmasını sağlamaktadır (http-20).

4.1.2. Maksimum çalışma sıcaklığı evresinde karşılaşılan problemler

Maksimum sıcaklık evresi, elde edilmek istenilen forma ulaşmak için gereken sıcaklıktır. Bu evrede sonuçlar; erişilme hızına, uygulama ve cam türüne bağlı olarak değişir (Stone, 1996, s.21).

Aşağıdaki Tablo 4.4’ te maksimum çalışma sıcaklık aralıkları verilmiştir. Verilen örnekteki değerler Bullseye camına aittir ve camın fırında çalışıldığı sıcaklıklar genellikle 538–927 ° C arasındadır. Bu aralıkta, çeşitli uygulamalar yapılır ve farklı etkiler elde edilebilir.

Tablo 4.4. Bullseye Camının İşlem Aralıkları

https://www.bullseyeglass.com/images/stories/bullseye/PDF/TechNotes/technotes_04.pdf (Erişim Tarihi:13.04.18)

Uygulama Türü	İşlem sıcaklık aralığı
Boyama	538-677 °C
Yarı füzyon	691-788 °C
Tam füzyon	804-843 °C
Yüksek ısıda füzyon	870-927 °C

Bir ısı işlem programı kullanarak, iki temel hedef gerçekleştirilebilmelidir; camı istenilen şeklin ve uygulamanın oluşabileceği bir sıcaklığa getirmek ve oradan oda sıcaklığına sağlam bir durumda geri getirmek (yani çatlamların olmadığı, formun bozulmadığı ve iç gerilmelerin olmadığı) (http-5).

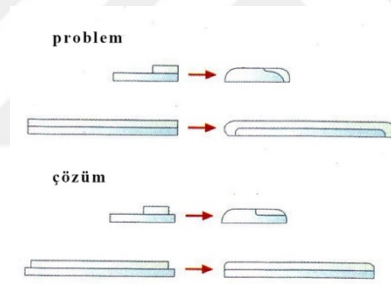
Aynı etkiler veya işlemler düşük bir sıcaklıkta daha uzun bir süre bekleyerek veya daha kısa bir süre için daha yüksek bir sıcaklıkta beklenerek de elde edilebilir. İşlem sıcaklığı ile süresi arasındaki bu etkileşim, ısı işlemi temelidir. Genel olarak bu sıcaklık devitrifikasyon aralığı içinde olmadığı sürece, daha uzun bir proses ile daha düşük bir sıcaklıkta bekletme yaparak daha fazla kontrole sahip olunur. Bullseye’in önerisi, çoğu temel ısı işlem için işlem sıcaklığında ortalama 10 dakika bekletilmesidir (http-5).

Isı işlem sonrasında cam kütlesi pürüzsüz bir üst yüzeye ve yuvarlanmış temiz kenarlara sahip olabilir. Ancak bu mükemmel sonuca uymayan bir camla da karşılaşmak olasıdır. Aşağıda çalışma sıcaklığında meydana gelen bazı problemler ve çözüm yolları incelenmektedir.

4.1.2.1. Şekil bozulmaları (Büzülme-çekilme-yayılma)

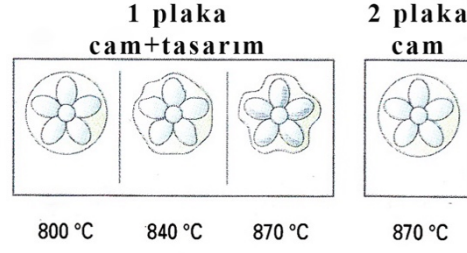
Özellikle tam füzyon uygulamalarının en sorunlu yönlerinden biri camın hacmini kontrol edememektir. Bu bakımdan camın davranışı belirli sabitleri izler. Tam füzyon sıcaklık aralığında cam giderek akışkanlaşır ve viskozitesi düşer. Bu sıcaklıkta yeterli bir süre tutulduğunda, Bullseye camı ‘Altı Milimetre Kuralını’ takip eder. Altı milimetre kuralına göre; her biri 3 mm olan iki ya da üç katmandan oluşan bir parça, ısıtılma işleminden sonra 6 mm olan bir plaka haline gelecektir. Eğer destekler, kalıplar veya diğer kısıtlamalar olmazsa 6 mm kalınlıkta kalacaktır. (http-20).

Ayrıca üstte yerleştirilen cam plaka (Görsel 4.1.) alttaki yüzey alanında dışarıya taşma eğilimindedir. Bu istenmeyen etkilere yol açar, çünkü üst plaka alt kısmı tamamen kaplayabilir. Bu sorunun çözümü, en üstteki plakanın boyutunu azaltmaktır. Örneğin; 30 cm boyutundaki alt tabakanın üstündeki tabakanın ölçüsünü 1 cm kadar azaltmak gibi.



Görsel 4.1. Tam Füzyon Uygulamalarında Şekil Bozulmaları
(Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s.85).

Hacim değişikliklerini etkileyen bir diğer faktör katman sayısıdır (Görsel 4.2). Üst üste bindirilmiş bir tasarıma sahip bir katmandan oluşan bir parça, yüzey alanını koruyarak 800° C’de kaynaşır. Aynı parça ile 840 ° C’ye yükseltirirse, taban katmanının dış şekli değişir. 870 ° C’de ise, parça şekli tamamen değişmektedir. Bununla birlikte, parça üst üste bindirilmiş tasarıma sahip iki cam katmandan oluşuyorsa, parçanın orijinal şekli 870 ° C’ de değişmez. (Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s.85).



Görsel 4.2. Tam Füzyon Uygulamalarında Şekil Bozulmaları
(Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s.85).

İkiden fazla standart katmanla işlem gören cam; 6 mm kalınlıkta olacak şekilde işlem sıcaklığında akacak ve daha büyük bir yüzey alanına sahip olacaktır (Tablo 4.5).

Tablo 4.5. Isıl İşlem Evresinde Camın Davranışı (760°-816°C)

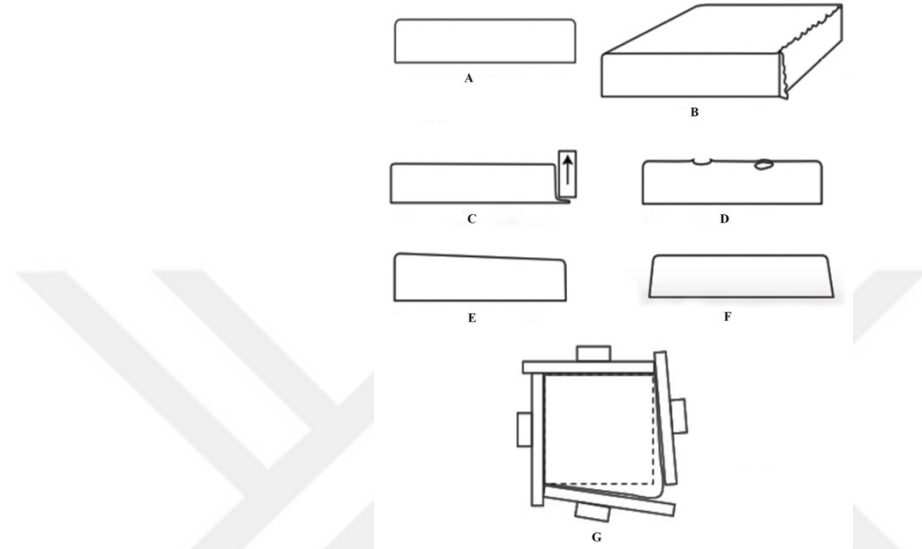
(https://www.bullseyeglass.com/images/stories/bullseye/PDF/TechNotes/technotes_04.pdf) (Erişim Tarihi: 13.04.18)

760°-816°C	Nasıl görünür?	Fiziksel olarak ne olur?	Isıl işlem süreci
	1 Tabaka: Parça merkezi son derece ince hale gelebilir. Çevresi ise kalınlaşır. 2 ve 3 Katmanlar: Katmanlar üst aralığın bitiminde tamamen kaynaşır. Kalıplar tarafından sınırlandırılmadıkça cam ilk boyutunun dışına doğru yayılır.	Sıcaklığın üst aralığında, yer çekimi yüzey gerilimini geçmeye başlar. Cam tabakaları veya fırın rafı arasında sıkışan hava genişler.	Sıcaklık aralığının başlangıcı Yarı Füzyon uygulamaları için uygundur. Sıcaklığın üst noktası ise Tam Füzyon için uygundur.

Yukarıdaki Tablo 4.5'te belirtildiği gibi, 6 mm'den daha ince olan bileşimler büzülürken, 6 mm'den daha kalın olanlar taşacaktır. Bu tür şekil bozulmaları füzyon uygulamalarında yaygın olarak görülmektedir. Desteklenmemiş cam plakalar, orijinal yüzey alanının dışına taşar ve düzensiz bir kenar oluşturur. Kenara yakın alanlar 6 mm kalınlığından azsa, çalışmanın kütesine doğru büzülme ve düzensiz bir çevre

oluşmasına neden olur. Farklı kalınlıkta alanlar içeren bir proje tasarlanıyorsa, şekil veya yüzey alanının bozulmasını en aza indirmek için, üst kattaki plakalar kenarlardan uzak yerleştirilmelidir. (http-20).

Çok katmanlı bir tasarım yapıldıysa aşağıdaki Görsel 4.3'deki bazı problemler ortaya çıkabilir.



Görsel 4.3. Karşılaşılan bazı şekil bozuklukları
(http://www.bullseyeglass.com/images/stories/bullseye/PDF/TipSheets/tipsheet_03.pdf)
(Erişim tarihi: 10.01.19)

Yapılması gerekenler tam olarak yapıldıysa Görsel 4.3 A'daki gibi, ısıtılma işlemi sonrasındaki cam kütlesi pürüzsüz bir üst yüzeye, yuvarlanmış, temiz kenarlara ve 90 derecelik köşelere sahip olacaktır. Ancak çok katlı uygulamalarda gerekli önlemler alınmaz ise şekil bozulmalarıyla karşılaşma olasılığı kaçınılmazdır. Bu olasılıklardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Görsel 4.3- B'deki iğne ucu görünümü birkaç nedenden ötürü üst yüzeyin kenarlarında oluşabilir. Üst cam parçaları ortalanmamışsa ve destekler boyunca elyaf kağıda temas ediyorsa, cam eridikçe elyaf kağıda tutunur. İğne uçlu görünüm, eğer parlak cam kullanılmışsa alttaki cam plakalara göre büyük olduğunda da oluşabilir. Çözüm yolu olarak en üstteki camın kütle üstüne ortalanarak yerleştirilmesi ya da biraz ölçüsünün küçültülmesi önerilmektedir.

Görsel 4.3 –B'deki köşe birleşiminden dışarı akma hatası, elyaf yüzeylerin ya da desteklerin yerleştirme işleminde düzgün bir şekilde kapatılmamasından kaynaklanmaktadır. En yüksek sıcaklıktaki erimiş cam, desteği dışarı doğru itmek için

yeterli kuvvete sahiptir. Bu yüzden yan destek duvarları ateş tuğlaları veya diğer ağır malzemelerle basınçla yıkılmayacak şekilde güçlendirilmelidir. Görsel 4.3 –C’deki alt kenarda dışarı akma hatası da koyulan desteğin ya da kalıbın üst kısımdan yeterince ağırlık koyulmadığı durumlarda meydana gelir. Bu gibi durumlarda erimiş cam, desteğin yukarı doğru yüzmesine neden olur ve daha sonra desteğin altından akar. Bu problemi önlemek için destek duvarlarının kalkmaması için üzerine ağırlık konulması yeterli olacaktır.

Görsel 4.3-D’de yüzeyden çıkan kabarcıklar şeklindeki hatalar genellikle yüzeye en yakın olan katmanların arasında sıkışan hava ya da plaka camların arasında frit halindeki camların kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Kabarcıklar, renkli cam levha elemanları–temiz ve dikkatli bir şekilde kesilmediğinde de ortaya çıkabilir. Tek bir pişirimde bir kütle yaparken, katmanının üstünde en az üç adet plaka cam koyulması önerilmektedir ve parçaların birbirine sıkıca oturmasına dikkat edilmelidir.

Düzensiz kalınlık hatası (Görsel 4.3-E), bu durum genellikle düz olmayan bir rafın sonucudur. Fırın rafının üzerine cam kütle yerleştirilmeden önce rafın düz olduğundan emin olunmalı ve ardından yerleştirme tamamladıktan sonra su terazisiyle son kontrol yapılmalıdır.

Eğimli kenarları olan kütle hatası (Görsel 4.3- F), bu durum, yanlış bir şekilde bağlanmış veya dikey olmayan yan duvar desteklerinden kaynaklanır. Benzer bir sorun da zayıf destek duvarları nedeniyle Görsel 4.3 G’deki gibi oluşur. Bunun sonucunda da destekler dışarıya itilir ve kütle dışarı akar. Bu tarz sorunların önüne geçebilmek için kalıp destek duvarlarının ağırlıklarla ya da tellerle bağlanarak güçlendirilmesi gerekir.

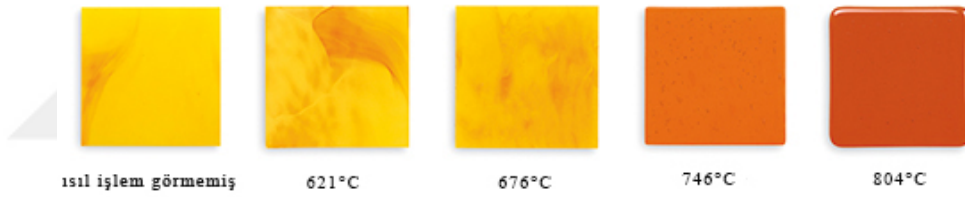
Bunların dışında camın rafa yapışması da en yaygın karşılaşılan sorunlardandır. Genellikle cam ile raf arasında yeteri kadar ayırıcı ya da elyaf kağıdı bulunmamasından kaynaklanır. Ayırıcı kullanılmış bir raf tekrar kullanılmamalıdır, kullanıldıktan sonra kazıyıp ve her raf için yeniden ayırıcı hazırlanmalıdır. Ayrıca cam çok yüksek sıcaklıklarda kaldığı zaman da rafa yapışması olasıdır (http-15). Bunu gidermek için yüksek ısıya dayanıklı ayırıcıların kullanılması önerilmektedir.

4.1.2.2. Renk değişimleri

Isıl işlemin bir sonucu olarak, bazı cam türlerinin rengi veya tonu değişebilir. Bu olay, çalışma sıcaklığı sırasında ya da ikinci tavlama sırasında meydana gelebilir.

Camın belirli bir sıcaklığa maruz bırakılması, ikinci tavlamadan sonra aynı spektrumda koyu renklere dönüşen pembe ve kırmızı camın karakteristiği olan rengini veya opaklığını değiştirebilir. Bazen bu değişiklik tercih edilir, ancak kırmızı ve turuncu gibi renkler tavlandığında koyu kahverengiye dönüşerek istenmeyen etkilerle de sonuçlanabilir (Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s.67).

Kullanılan camın rengi, ısıtma işlem sonrasında tamamen değişmişse; bu cam İngilizcede '*striking*' cam olarak sınıflandırılır. Bu cam fırın içerisinde belirli bir sıcaklığa ulaştığında reaksiyona girerek renk değiştiren çok küçük metal parçacıkları içeren bir camdır. Renk genellikle daha koyu ve daha yoğun hale gelir. Bu renkler; bazı opak camların yanı sıra kırmızı ve turuncu renklerdir. Mesela hafif renkli uyumlu plaka cam ısıtma işleminden sonra kırmızıya dönebilir. Tedarikçilerde satılan tüm bu camlar '*striking*' olarak işaretlenmelidir ve kullanımda bunun farkında olarak kullanılmalıdır (Watkins-Baker, 2010, s.226).



Görsel 4.4. '*striking*' bullseye cam renkleri
(<http://www.bullseyeglass.com/what-are-striking-glass-colors.html>) (Erişim tarihi: 06.03.19)

Bazı Bullseye camları ısıtma işlem uygulanmadan önce soluk veya renksiz görünür, ancak ısıtma işlem ardından çok farklı bir renkte ortaya çıkabilir. Bu renkler, sıcaklığa, atmosfere ve ısıtma geçmişine bağlı olarak değişebilir. Özellikle renk ile çalışılan projeler için, kullanmadan önce '*striking*' camların küçük örneklerinin füzyon veya şaloma ile test edilmesi önerilir. Görsel 4.4 son renk sonuçlarını tahmin için yardımcı olabilir (http-21).

4.1.2.3. Devitrifikasyon

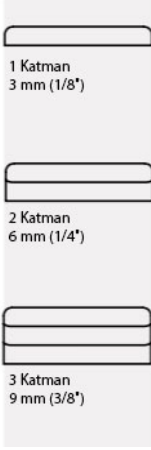
Kristal yapıların cam içerisinde ya da yüzeyinde büyümesi "devit" olarak anlandırılırken "vitri" cam, "devitrifikasyon" camsız hale gelme süreci olarak tanımlanmaktadır (http-22). Devitrifikasyon, genel olarak, puslu çiçek, yüzey çatlağı

veya opak kırışıklığa benzeyen ısıtıl işlem görmüş cam yüzeyindeki etkileri tanımlamak için kullanılan bir terimdir (Watkins-Baker, 2010, s.227). Devit, devitrifikasyon sıcaklık aralığının çok yavaş bir şekilde geçilmesinden kaynaklanabilir. Genellikle, ısıtıl işlem görmüş camın üst yüzeyinin kenarında beyazımsı bir tabaka gibi ortaya çıkar (Görsel 4.5). Bazı camlar, diğerlerinden daha fazla devitrifikasyona eğilimlidir. Bullseye, Uroboros ve Spectrum gibi firmalar tarafından üretilen "test edilmiş uyumlu" camlar, devitrifikasyona karşı özellikli formüle edilmiştir. Bu formüle edilmiş camlarda bile, birden fazla fırınlama veya yüksek sıcaklıkta uzun süreli bekletme gibi belirli koşullar altında devitrifikasyon oluşabilir. Ayrıca, opak camların, transparan olan camlara göre devitrifikasyona eğilimi daha fazladır (Walker, B. 2010, s.47). Aşağıda Tablo 4.6'da Bullseye camının bazı sıcaklık aralıklarındaki camda hangi etkilerin meydana geldiğini ve özellikle devitrifikasyon aralıkları gösterilmiştir.



Görsel 4.5. Devitrifikasyon örneği
<https://www.bullseyeglass.com/what-is-devitrification-or-devit.html>
(Erişim tarihi: 21.02.19)

Tablo 4.6. Isıl İşlem Evresinde Camın Davranışı (677°–732°C)
(https://www.bullseyeglass.com/images/stories/bullseye/PDF/TechNotes/technotes_04.pdf) (Erişim Tarihi:13.04.18)

677°–732°C	Nasıl Görünür?	Fiziksel olarak ne olur?	Isıl işlem süreci
	 1 Katman 3 mm (1/8") 2 Katman 6 mm (1/4") 3 Katman 9 mm (3/8")	1 Katman: Camın kenarları hafif yuvarlaklaşmış, yüzey parlak görünmeye başlamıştır. 2 ve 3 Katmanlar: Katmanlar birbirine yapışmış gibi görünür	Bu aralığın üst ucunda uzun süre bekletilirse, kristallenme artabilir yani devitrifikasyon meydana gelir Isıl parlatma ve cam yüzeyindeki derin olmayan aşınmaların giderilmesi gerçekleştirilebilir. Cam, sıcaklık aralığının üst ucunda tamamen sarkmaya başlar. Cam yüzeyleri birbirine yapışır; Yarı Füzyon olarak isimlendirilir

Camların kristalleşme sıcaklık aralığında uzun süre bekletilmesi devitrifikasyon oluşumuna sebep olabilir. Kristalleşme sıcaklık aralığı DTA (diferansiyel termal analiz) cihazı ile saptamak mümkündür. İstenen sonucu mümkün olan en düşük sıcaklıkta elde etme genel bir prensip olmalıdır. Diğer öneri ise gerilim noktasının üzerinde farklı hızlarla sıcaklık artışı denenmesidir (Stone,1996, s.35).

Devitrifikasyona neden olan diğer unsur ise; ısıl işlem süreçlerinde fırın içinde kullanılan malzemelerden ortama verilen gaz çıkışlarıdır. Bu gaz çıkışları yapıştırıcı, fırın malzemelerindeki bağlayıcı veya ekleme malzemelerinden kaynaklanabilir ve cam yüzeyinde tortu bırakabilir. Bunu önlemek için en yüksek sıcaklığa gelindiğinde fırını havalandırmak engelleyici bir tedbir olabilir veya ortama gaz çıkışı yapabilecek malzemeleri önceden pişirmek de önerilmektedir (Watkins-Baker, 2010, s.227). Kaolin içeren ayırıcılar ve kalıplar devitrifikasyona neden olabilir. Kalsiyum bazlı herhangi bir maddenin de aynı etkiyi vermesi muhtemeldir. Aynı şekilde, seramik elyaf ile temasta olan camda bazen devitrifikasyon görülebilir (Stone, 1996, s.35).

Devitrifikasyon aynı zamanda, yağlar ve parmak izleri gibi kirleticilerin iyi temizlenmediği durumlarda da meydana gelebilir (http-22). Isıl işlem den önce camın

çok temiz olduğundan emin olunmalıdır. Toz, yağ ve diğer kirleticiler, ısı nedeniyle camın yüzeyinde bozuk bir etkiye neden olabilir. Benzer şekilde fırının iç kısmında toz bulunmamasına özen gösterilmelidir.

Pencere camı kullanılmışsa, camın kalay yüzeyinde ısı işlem sonrası buğulanma oluşabilir. İşlem öncesinde kalıylı yüzey bir UV lamba ile tespit edilebilir. *'Tin Bloom'* Kalay çiçeklenmesini önlemek için, kalaylı tarafı aşağıya doğru yerleştirilmelidir (Watkins-Baker, 2010, s.228). Aynı zamanda özellikle pencere camları birkaç defa ısı işleme maruz kalırsa düşük bir sıcaklıkta olması da devitrifikasyonu engelleyemez. (Stone, 1996, s.35).

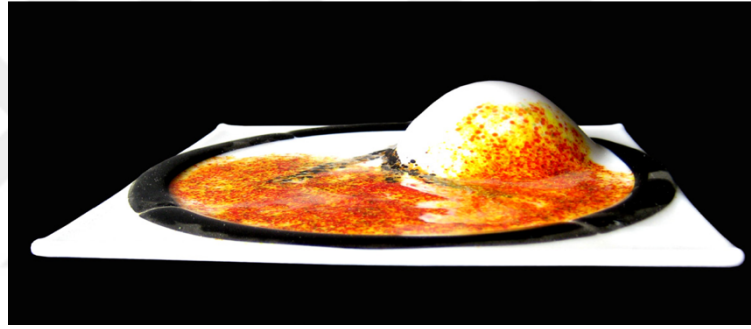
Devit sprej, yukarıda vurgulanan bazı sorunların üstesinden gelmek için sıklıkla kullanılan bir üründür. Devitrifikasyonun oluşmasını önlemeye yardımcı olabilir, ancak camı, zamanla gerçek bir cam yüzeyden daha fazla bozulma ihtimali olan bir tabaka ile kaplar (Watkins-Baker, 2010, s.228). Isıl işlemden önce cam yüzeyine "devit sprej" püskürtülerek veya fırça yardımıyla sürerek devitrifikasyonunu minimize edebilirsiniz. Bu sprej, ticari olarak birkaç farklı ad altında temin edilebilir (Sprej "A", Clear Coat Overglaze, Super Spray) (Walker, B. 2010, s.47). Devitrifikasyonu önleyen veya en aza indiren bu sprejin yapımı ucuz ve kolaydır. Füzyon camları ve pencere camları da dahil çoğu cam türünde işe yarar. Sprej, bir ölçü boraks'a sekiz ölçü su karıştırılarak elde edilir. İki karışım birlikte iyice karışana kadar suyu ısıtın; Karışımı kaynatmak zorundalığı yoktur. Karışıma birkaç damla deterjan (bulaşık deterjanı) ekleyin; bu, karışımın cama uygulandığında boncuklanmasını önler. Çözeltiyi kullanmak için, camı temizledikten sonra pişirim işleminden önce camın üst yüzeyine sıvı püskürtülür ya da sürülür. Pişirimden önce sprejin kuruması beklenmelidir. Çökertme işlemi sıcaklıkları bu spreyi olgunlaştıracak kadar sıcak olmayabilir, bu yüzden sadece füzyon tekniği çalışmalarında kullanılması önerilir (Walker, B. 2010, s.191).

4.1.2.4. Hava kabarcığı

Füzyon tekniğinde, çok katlı uygulamalarda yaygın olarak hava kabarcıkları oluşumu ile karşılaşılmaktadır. Hava kabarcığının oluşumu; ısı işlem sonucu, malzemeden kaynaklı ya da tasarımdan kaynaklanabilir. Büyüklüğünü, şeklini ve sayısını kontrol etmek deneyim sonucunda tasarımın bir parçası haline getirmek ya da hava kabarcığı oluşumunu aza indirmekte mümkündür.

Camdaki kabarcıklar, 700 °C ve maksimum çalışma sıcaklığı aralığının çok hızlı bir şekilde geçilmesinden kaynaklanır. Araya sıkışan havanın tahliyesini sağlamak için bu aşamada daha yavaş bir geçiş süresi verilmelidir. Bu ısı aralığında, ısıtma işlemi sırasında 20-30 dakika bekletilmesi önerilmektedir. Çünkü bu sıcaklıkta cam, şeklini koruyacak kadar serttir ve havanın bir kaçış yolu bulması için zamana gereksinimi vardır (Watkins-Baker, 2010, s.227).

Büyük kabarcıkların (Görsel 4.6) oluşumu; cam ve fırın rafı arasındaki alanda başlar. Uzun bir ısıtma programı ayarlanmışsa, kabarcık camda bir delik bırakarak patlayana kadar genişleyebilir. Bu büyük kabarcıkları önlemenin yolu; 600°C'den son füzyon çalışma sıcaklığına kadar daha yavaş ısıtma programı uygulamaktır (Walker, 2010, s.96).



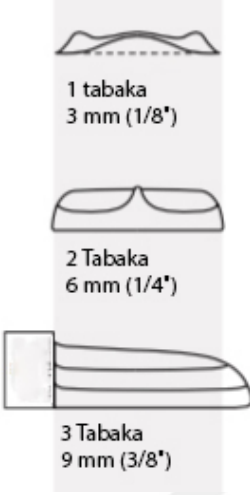
Görsel 4.6. *Büyük hava kabarcığı*

<http://www.spectrumglass.com/arteducators/library/troubleshooting.pdf> (Erişim tarihi: 12.03.19)

Bir parçanın altındaki hava yanlardan çıkamazsa, yumuşamış camı yukarı doğru iter. Meydana gelen bozulma, teknik olarak bir kabarcık olmasa da, genellikle istenmeyen bir durum olacaktır. Yeterince yüksek bir sıcaklığa getirildiğinde, sıkışmış hava yumuşatılmış camın içine tamamen girerek füzyon projelerinde bir krater veya delik oluşturabilir (http-20). Bu durumlarla ilgili oluşabilecek sorunlar tespitler Tablo 4.7 ve 4.8’de verilmektedir. Yüksek sıcaklıklarda oluşan kabarcıkların tahliyesi için maksimum çalışma sıcaklıklarında bekleme yapılarak yüzeye yakın olan kabarcıkların tahliyesi kısmen de olsa sağlanabilir.

Tablo 4.7. Isıl İşlem Evresinde Camın Davranışı (816°–871°C)

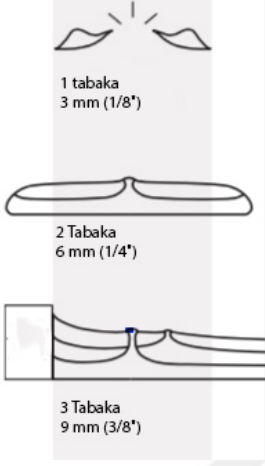
https://www.bullseyeglass.com/images/stories/bullseye/PDF/TechNotes/technotes_04.pdf (Erişim Tarihi:13.04.18)

816°–871°C	Nasıl görünür	Fiziksel olarak ne olur	Isıl işlem süreci
	1 Tabaka: Camın ince merkezi ile rafın üst yüzeyi arasında sıkışan hava yükselir ve kabarcık oluşturabilir. 2 ve 3 Katmanlar: Yüzey pürüzsüz ve akışkandır, cam içindeki kabarcıklar ya da tabakalar arasında sıkışmış kabarcıklar yüzeylere kadar yükselir. Kenarlarından desteklenmediği sürece, cam 6 mm (1/4 ") kalınlığa gelene kadar serbestçe akacaktır.	Viskozite azalmaya devam eder ve cam yerçekimi kuvveti altında akmaya başlar. Cam aynı zamanda temas ettiği malzemelerle daha aktif hale gelir. Sıcaklığın en üst aralığında, cam raf ayırıcılarına ve kalıp malzemelerine daha kolay yapışır; ve camın uyumluluk özellikleri değişmeye başlayabilir.	Tam Füzyon ya da Fırın Döküm Tekniği. Bu sıcaklık aralığının üst noktasında cam, kalıpların küçük çatlaklarını dolduracak kadar akar.

Tablo 4.8. Isıl İşlem Evresinde Camın Davranışı (871°–927°C)

(https://www.bullseyeglass.com/images/stories/bullseye/PDF/TechNotes/technotes_04.pdf) (Erişim

Tarihi:13.04.18)

871°–927°C	Nasıl görünür	Fiziksel olarak ne olur	Isıl işlem süreci
		1 Tabaka Hava kabarcıkları patlar ve Çukur oluşturur. 2 ve 3 Tabakalar: Cam pekmez gibi akar. Cam raf kenarından akabilir. Kalıplar ya da bariyerler tarafından desteklenmelidir. Kabarcıklar alt tabakalardan yükselirken, alttaki camı yüzeye çıkaracaktır.	Viskozite azalmaya devam eder ve akışkanlık artar. Cam, Kilncasting -Fırın Döküm Tekniği ve combing-Tarama Tekniği için yeteri kadar akışkandır.

Kabarcık oluşumuna neden olabilecek bir değişken de, bir projede kullanılan cam plakanın düzlüğü veya dalgalı olmasıdır. Örneğin, renkli plaka camların üretilirken tekli silindirle çekilmiş olanlarla çiftli silindirle çekilmiş olanları arasında fark oluşmaktadır. Tekli olan camların katmanlar arasında daha fazla hava tutma eğilimleri bulunmaktadır (http-20).

Frit, toz veya farklı formdaki diğer camların katmanlar arasında kullanımı ardından kabarcıkların oluşumu neredeyse kesindir. Hava kabarcığını aza indirmek için, bu camlar projenin en üst katmanına yerleştirilmeli veya bunlar öncesinde ayrı olarak fırınlanmalıdır. Daha sonraki fırınlamalarda bu parçalar hava sıkışması olasılığının düşük olduğu bir yere yerleştirilmelidir (http-20). Metaller, cam çubuklar, frit veya küçük cam parçaları gibi katmanlar arasında farklı yükseklikte ve boyutta kullanılmışsa, havanın tahliyesi önceden düşünülmelidir. Kapalı bir tasarım yapılmışsa, havanın çıkması mümkün olmaz. Böyle durumlarda havanın kaçabileceği bir boşluk oluşturmak için iki katman arasına bir destek yerleştirmek te düşünülebilir. Projenin kenarına, iki

plaka arasına aynı renkte küçük bir cam parçası yerleştirerek havanın çıkması sağlanabilir (Watkins-Baker, 2010, s.227).

Projenin kenarları fırın elemanlarına çok yakınsa ya da fırın sadece yandan ısıtma elemanlarına sahipse, doğrudan gelen ısı camdan hava kaçmadan önce kenarların birleşmesine neden olabilir. Seramik elyaflı kağıt veya fırın destekleri, camın kenarlarından gelen ısıyı bölmek veya siperlemek üzere yerleştirilebilir, böylece havanın katlar arasından kaçmasına izin verilir (http-20).

Diğer hava kabarcıklarının nedeni tasarımdan kaynaklanabilir. Örneğin, bir tasarımın bileşen parçaları istiflenirken veya kesilmiş parçalar birbirine tam olarak uymadığında arada kalan hava, katmanlar arasında kabarcıklar oluşturabilir (Watkins-Baker, 2010, s.227). Bu bir anlamda düzensiz yerleştirmeden kaynaklanan bir sorun olarak düşünülmelidir. Bu tarz sorunları gidermek tasarım aşamasında katların planlaması ve düzenlemesi hava tahliyeleri dikkate alınarak yapılmalıdır.

4.1.3. Tavlama evresinde karşılaşılan problemler

Camda kalıcı gerilim, cam gerilim noktasının üstünden soğutulduğunda meydana gelir, çünkü cam iç sıcaklığını dış sıcaklığı kadar hızlı bırakamaz. Tavlamanın amacı bu stresin çoğunu hafifletmektir. Atom seviyesinde, cam sertleşmeye başladığında tavlama aralığında yapısal bir yeniden düzenleme gerçekleşir. Gerilimler yapısal rahatlama olarak da bilinen tavlama işlemi sırasında azaltılır (Stone, 1996, s.166). Yanlış yapılan tavlama sonucu camda gerilim oluşumu ve ardından çatlama ve kırılma oluşması beklenen bir sonuçtur.

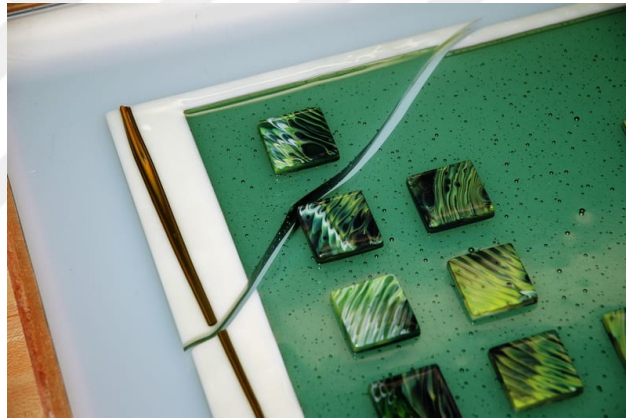
Fırında cam şekillendirmelerde, özellikle büyük ölçekli çalışmalarda, camın tavlama aralığı boyunca eşit şekilde soğutulması önemlidir. Cam içindeki sıcaklık farkı yukarıdan aşağıya, yandan yana veya uçtan uca 5 °C'den yüksek olmamalıdır. Bu homojenlik, camın bozulmasına neden olabilecek tavlama gerilimi oluşturma da dahil olmak üzere bir takım problemleri önler (http-8)

4.1.3.1. Çatlaklar

Çatlama durumlarında çatlama uyumsuzluğun mu neden olduğu, yoksa tavlamanın mı neden olduğunu ayırt etmek önemlidir. Tavlama çatlakları, camın yüzeyinden iç kısmına kadar parçayı bir bütün olarak bölme eğilimindedir; bu çatlaklar,

sapmalar olmadan renkler üzerinde ilerler. Çatlakların ana nedeni genellikle yüzey ile iç kısım arasında var olan gerilim olarak tanımlanır (Cummings,2001, s.164)

Yaygın olarak görülen çatlak türlerinden biri; parçanın ortasındaki kavisli çatlaktır (Görsel 4.7). Yanlış yapılan tavlama bu tür çatlaklara neden olur. Çoğunlukla, parçanın ortasından geçen yumuşak bir eğri (genellikle S şeklinde, ancak bazen düz çizgiler) olarak ortaya çıkar. Bazen çatlak, camın kenarına yaklaşırken keskin bir şekilde kıvrılır. Bazen de, parça çatlakla ikiye bölünebilir, ancak çoğu zaman çatlak, parça boyunca ilerler ve sağlam kalır. Bu sorunun oluşmaması için tavlama sıcaklığında bekletme süresini uzatmak ve tavlama aralığının alt yarısını daha yavaş soğutmak olacaktır. Önceden çatlamış olan parçalar için tekrar füzyon işlemi yapılabilir ve çatlağın yürümemesi için uygun şekilde tavlanabilir, ancak her durumda çatlağın çizgisi görünür olacaktır (Walker, B. 2010, s.93).



Görsel 4.7. Tavlamadan kaynaklı çatlak
<https://immerglass.com/about-kilnforming/cracks/> (Erişim tarihi: 05.04.19)

Bu ısıtma işlem evresinde uygulamalarda karşılaşılan diğer bir çatlak türü ısıtma işleminden sonra ortaya çıkan çatlaklardır. Bu durumun nedeni, yanlış tavlama ya da uyumsuzluktan kaynaklanan gerilim ile ilgilidir. Camın kendisinde varolan gerilimler bazen dış etkilerin de etkileşimiyle sonradan kırılmalara neden olabilir. Fırın programlarının her proje için tekrar ele alınması gerekir. Programlar camın kalınlığına, türüne ve boyutuna göre tavlama zamanı biraz daha uzun ya da daha yavaş tavlama yapılacak şekilde ayarlanmalıdır (Walker, B. 2010, s.94).

Aynı zamanda projedeki geniş alanda kalınlık incelik gibi yüzey farklılıkları da bu sorunu yaratabilir, ince olan bölgeler çatlamaya karşı çok hassastır. Daha hacimli ve kalın olan tasarımlar için bu sorun daha az olacaktır (http-23). Bu yüzden tasarım

yaparken bu durumu da göz önünde bulundurmak önemlidir ve tavlama programı da buna göre değerlendirilmelidir.

Bir başka faktör ise; şeffaf cam ile birlikte renkli veya opak camın kullanılmasıdır. Burada problemler opak camların şeffaf camlara göre farklı bir oranda ısı alıp vermesinden kaynaklanır. Her iki cam türü de aynı genleşme katsayısına sahip olsa da, renkli veya opak cam, şeffaf camdan daha yavaş şekilde ısı kazanma ve bırakma eğilimindedir. Bu yüzden tavlama evresi hesaplanırken farklı soğutma oranları dikkate alınmalıdır. Yoğun renkli ve şeffaf cam birlikte kullanıldığında hem tavlama hem de soğutma evresinin önemli ölçüde genişletilmesi, uzatılması önerilmektedir (Bray, 2001, s.27).

Tavlama işlemi ve yöntemleri üzerine farklı görüşler bulunmaktadır. Cummings'e (2001) göre sıcaklık kesinlikle gerekli olandan daha yüksek veya daha uzun süre olmamalıdır. Camı mümkün olduğu kadar düşük sıcaklıkta çalışmak genel bir tavsiyedir. Camı çalışma sıcaklığından sonra, sıcaklığı hemen tavlama noktasının üstüne kadar azaltılmalı ve programa devam etmeden önce sabitlemek için bir süre bekletilmelidir (s.164). Bray'e (2011) göre ise uzun süreli tavlamanın her türlü gerilimi ortadan kaldırması yaygın bir yanılgıdır. Gerilime neden olan öğelerin örneğin eklemelerde kullanılan taş, farklı metaller veya farklı genleşen camların kullanımı gibi tavlama evresinin uzatılmasıyla gerilim engellenemez (s.27).

Genel olarak tavlama, camın türüne bağlı olarak yaklaşık 440° C ile 575° C'de gerçekleşir. Camın ısıtılma hikayesinin en önemli aşamasıdır. Tavlama sırasında camın tüm parçaları, aynı sıcaklıkta yeteri kadar bekletildiğinde ve yeterince yavaş soğutulduğunda camdaki gerilim dağılır. Bu nedenle, bu sıcaklığa sahip olma süresi, camın kalınlığı ile artar. Örneğin, 3 mm cam sadece yaklaşık 5 dakikalık bir tavlama gerektirirken, 25 mm sadece bir taraftan ısıtıldığında yaklaşık 2 saat gerektirir. Tavlama zamanı yetersizse, cam ısıtılma sonrası sağlam çıksa bile ilerleyen zamanda çatlama görülebilir (Stone, 1996, s. 22). Oluşmuş gerilimi polariskop kullanarak test etmek ileride karşılaşılabilecek çatlamanın bilincinde olmak için akıllıca olacaktır.

Çatlamlar her zaman tavlama evresinde gerçekleşmeyebilir. Bundan dolayı çatlamanın nedenini ve neyin yanlış gittiğini anlamak için zaman ayırmak gerekir. İlk önce, parçanın düşmediğinden, sıcakken fırından çıkarılmadığından ve kazayla su ile ya da soğuk bir yüzeye temas ettirilmediğinden emin olduktan sonra çatlakların yapısını inceleyerek çatlama nedeni hakkında bilgi sahibi olmak mümkündür. Çatlama camın

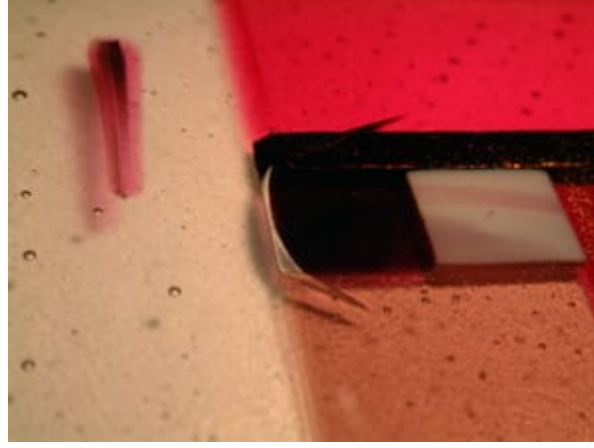
her yerinde mi, kırılma şekilleri nasıl, yapılan proje tamamen kırılmış mı yoksa hala sağlam mı gibi soruları analiz ederek kırılmaya neyin sebep olduğu belirlenebilir. Bu anlamda yoğun karşılaşılan bir başka çatlak türü; küçük, birbirine bağlı çatlaklardır (örümcek ağı gibi). Bu çatlaklar genellikle camın altından tek bir noktadan uzanır. Camın parçalara ayrılmasına neden olacak kadar şiddetli değildirler. Bazen raf astarı camın alt kısmına da yapışabilir. Büyük olasılıkla, bu tür bir çatlak, camın fırın rafına yapışmasından kaynaklanır. Bunun gibi bir çatlak, rafa gömülmüş küçük cam parçalarının varolmasından da kaynaklanabilir. Bu durumun oluşmaması için çözüm yolu raf temizliğidir. Her uygulamada yeni ayırıcı uygulamak gerekir. İnce elyaf kağıt kullanılması da bu tür çatlakları önler (Walker, B. 2010, s.94).

4.2. Diğer problemler ve çözüm yolları

Füzyon tekniği uygulamalarında ısıtma işlem evreleri dışında problem oluşturabilecek başka nedenler de mevcuttur. Uyumsuzluk, kirli yüzey ve kullanılan fırın tipi olarak üç başlıkta incelenmiştir.

4.2.1. Uyumsuzluk

Uyumsuzluk kavramı, iki veya daha fazla cam türünün birbirleriyle temas halindeyken ısıtma işlem uygulandığında davranışlarına dayanır. Isıtma işlem döngüsünden sonra camların ayrılmasına, nesnenin çatlamasına ve kırılmasına neden olabilecek iç gerilimler yoksa kullanılan camlar uyumludur (Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s.58). Uyumsuz camların kullanımı bu çatlaklara neden olur. Çatlaklar çok küçük olabilir veya camın parçalanmasına neden olabilir, (Görsel 4.8) ancak genellikle iki cam parçası arasındaki kesişme noktalarında eğriler şeklinde ortaya çıkarlar. Bu sorunu önlemek için "test edilmiş uyumlu" cam kullanılması önerilir ya da kendi uyumluluk testlerinin yapılması önerilir. Uyumsuzluk nedeniyle çatlamış bir parçanın kurtarılması mümkün değildir (Walker, B. 2010, s.94).



Görsel 4.8. Uyumsuzluktan kaynaklanan çatlama örneği

<https://immerglass.com/about-kilnforming/cracks/> (Erişim tarihi: 05.04.19)

Uyumluluk, birleştirildiğinde iki tür camın özelliği olarak düşünülebilir. Bazı türler uyumludur, bazıları uyumsuzdur. Genellikle uyumluluk, genleşme katsayısı ile tanımlanmıştır. (Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s.58).

Uyumluluğu ile ilgili bilgi sahibi olmadan iki ya da fazla türdeki cam füzyon veya fırında şekillendirme tekniklerinde kullanılmamalıdır. Uyumsuz camların füzyon olması, farklı oranlarda genişlemeden dolayı gerilime neden olur (Watkins-Baker, 2010, s.30). Kaynaşmış bir bütün elde ederken, camlar eşit derecede yumuşayarak hareket eder ancak sertleşmeye başlarken, soğutma sırasında her cam kendi ısıl genleşme katsayısına göre daralırlar. Her iki cam için genleşme katsayısı aynı ise sorun yoktur, ancak farklı ise bir cam diğerinden daha fazla daralma yapmaya çalışacaktır. Soğuma aşamasında daha yüksek genleşme katsayısına sahip cam gerginleşecek ve daha düşük genleşme katsayısına sahip cam ise büzüşerek hacmini küçültecektir. Genleşme katsayısının %5'i kadar farklılık camlar arasında uyumluluk sağlar gibi görünse de dikkat edilmesi gereken diğer unsurlarda vardır; viskozite, opaklık, renk, farklı tavlama noktaları ve kalınlık farklılıkları gibi... (Bray, 2001, s.29).

Bir camın viskozite (akışa direnç) özellikleri ile genleşme özellikleri eşit derecede önemlidir. Bu iki özellik, camların birbiriyle uyumluluğunu belirlemektedir. Genleşme, tüm sıcaklık aralığında (tavlama noktasından oda sıcaklığına kadar) uyumluluğu etkiler. Bunun nedeni, doğası gereği katı ya da sıvı çoğu malzeme ısıtıldığında genişler, soğutulduğunda ise büzüşür. Genel olarak, eğer benzer şekilde genişler ve daralırlarsa, bir araya getirildiklerinde uyumlu olacakları varsayılır. Ancak bu mutlaka doğru değildir. Genleşme, daha düşük sıcaklık aralığındaki- (gerilme noktasının altında)

uyumluluğu etkilerken, viskozite özellikleri, tavlama aralığındaki- tavlama noktasından gerilme noktasına kadar ki uyumluluğu etkiler. İki cam arasında viskozitedeki farklılıklar da uyumsuzluğa neden olur. Bir cam diğerinden daha sert ise, tavlama aralığı boyunca soğudukça gerilim oluşur (http-7).

Farklı viskozitelere sahip camlar uyumluysa (ki bu genellikle böyledir) genişlemeleri farklıdır. Genleşmedeki uyumsuzluğun getirdiği gerilim, viskozite uyumsuzluğunun yarattığı gerilim tarafından süspanse edilirse iki farklı cam uyumlu olacaktır (bir kez oda sıcaklığına soğutulmuş ve uygun tavlamanın gerçekleştiği varsayılmıştır). Başka bir ifadeyle Bullseye Technotes'un verdiği bilgiye göre; viskozitesi farklı olan iki cam arasındaki gerilim ile genleşmesi farklı iki cam arasındaki gerilim eşit miktarda oluşursa, iki gerilme birbirini dengeler. Bu, iki camın farklı genleşme / viskozite özellikleriyle uyumluluğuyla sonuçlanan kritik bir olgudur. Bu durum çok farklı viskozite / genleşme özelliklerine sahip camların nasıl uyumlu sonuç verdiğini açıklamaktadır (http-7).

Farklı cam türlerini içeren herhangi bir kombinasyonun uyumluluğunu kontrol etmenin tek güvenilir yolu atölyede bir test yapmaktır. Bu test, cam kombinasyonlarının uyumluluğunun veya uyumsuzluğunun doğrulanmasına olanak verir. Bu sistem aynı zamanda birkaç test yapılmasını mümkün kılar, ısıtma işlem sonucu camdaki olası renk değişimlerinin de kontrol edilmesini sağlar. Tek dezavantajı, yalnızca şeffaf camın üzerinde renkli camla kullanılabilmesidir. Uyumluluk testi yapmak için, yaklaşık 2,5 cm genişliğinde ve 15-20 cm uzunluğunda bir düz cam şeridi (pencere camı) üzerine diğer türdeki camları kare şeklinde kesip, yaklaşık 2 cm aralık bırakarak yerleştirilmelidir, Daha sonra, bunları fırına yerleştirilmeli ve sıcaklığı 830-843°C seviyesine getirilmelidir, ardından 525-530 ° C sıcaklıkta 15dk soğutmaya devam edilmelidir. Pişirme tamamlandığında ve cam oda sıcaklığına geldikten sonra, farklı camlardaki iç gerilmeleri görmek için polarize bir ışık lambası kullanmak mümkündür (Beveridge, Domenech, Pascual, 2005, s.59).

Farklı kökenli camlar ve farklı kompozisyonlar birbirine kaynaştığında, birbirleriyle uyumsuz olduklarını kanıtlayacak olasılıklar vardır. Camlar benzer genleşme katsayısına sahip olarak tanımlanabilse de, farklı tavlama noktalarına sahip olabilecekleri ve genelde tavlanması için uygun bir sıcaklık aralığı olmasına rağmen, özellikle kalın bölümlerinde gerilmelerin yaşanabileceği unutulmamalıdır (Bray, 2001, s.81).

Son yıllarda cam sanatçıları, füzyon ve diğer fırında şekillendirme teknikleri için geliştirilen camların başarılı sonuç garantisine güvenmeye başlamışlardır, aslında katsayı değerleri çoğu zaman camı oda sıcaklığından 300 ° C'ye kadar olan bir sıcaklık aralığında test etmeye dayanmaktadır. Ancak fırında biçimlendirme teknikleri bundan daha yüksek sıcaklıklarda yapıldığı ve tam sıcaklık aralığında genişlemenin tek tip olmadığı kanıtlanmıştır. Birçok cam sanatçısının aynı katsayıya sahip farklı camlarla, füzyon sonrasında problem yaşamış olmasının nedeni budur. Bu yüzden, katsayı değerlerini dikkate alarak, farklı camları füzyon için test etmeden kullanmak çok güvenilir değildir. Bazı cam üreticileri ayrıca camın viskozitesinin uyumluluğu etkileyeceğine inanmaktadır. Bu durum bazen farklı katsayılı camların neden birlikte başarılı bir şekilde kaynaşmış olduğunu açıklar (Watkins-Baker, 2010, s.31).

Sonuç olarak, pratik açıdan camları birleştirmeyi denemek için bir başlangıç noktası olması gerekir. Alınan katsayıyı, çalışacak bir temel oluşturmak için kullanabiliriz, ancak her zaman ki gibi en iyi eylem, önce küçük bir örnek üzerinde uyumluluğu test ederek gerilme olup olmadığını incelemektir. Uyumluluk sorunu günümüzde cam sanatçıları için sorun olmaktan çıkmaktadır, çünkü artık çok fazla cam uyumlu hale getirilmiş ve test edilmiştir. Füzyon için kullanılabilir plaka cam yelpazesinde, uyumluluğu garanti edilen birçok renk bulunmaktadır (Watkins-Baker, 2010, s.32).

4.2.2. Kirli yüzey

Camı ısıtıl işleminden önce temizlemek olumsuz etkilerden kaçınmak için önemlidir. Cam kesme sıvısı, yağlar, mineraller, tuzlar, tozlar, lifler, çıkartma artıkları, parmak izleri ve kalem izleri gibi soruna neden olan kirletici maddelerin bitmiş proje üzerinde etkileri görülebilir ve camda kristal yapıların büyümesi gibi yani devitrifikasyona neden olabilirler (http-24). Temizlemek için tortu bırakmayan bir temizlik maddesi kullanmak önemlidir. Deterjanlar, amonyak ve mavi ispirto gibi temizleyicilerin tümü, devitrifikasyona neden olabilecek kalıntılar bırakabilir. Bu içerikleri içeren ev ürünleri örneğin; bulaşık deterjanları, çok amaçlı temizlik maddeleri ve bazı pencere temizleme maddeleri kullanılmamalıdır.

Camları silerek temizlemek için tüy bırakmayan pamuk mutfak havlusu kullanılması önerilmektedir. Beyaz iyi bir renk seçimidir çünkü iyi kir gösterir. Elinizde iyi bir malzeme bulundurun, böylece havlularınızı çalışırken sık sık değiştirebilirsiniz.

Kir ve tortunun camın bir kısmından diğer kısmını kirletmesini önlemek için her zaman temiz havlu kullanılmalıdır.

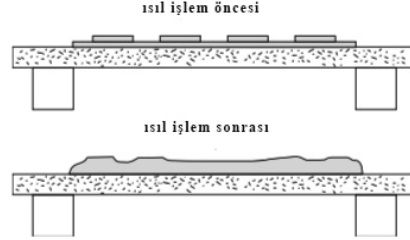
4.2.3. Kullanılan fırın tipi

Her fırın farklıdır ve kullanılan fırının özelliklerinin bilinmesi esastır. İç ölçüleri ölçülmeli ve ısıtma elemanlarının pozisyonları bilinmelidir. Stone kullanılan fırını test etmek için boş fırını mümkün olduğunca hızlı bir şekilde 900 °C'ye kadar ve her 100 °C'de geçen süreyi not edilmesini önermektedir. Bu işlemi ek olarak içinde önemli miktarda kütle ile (tuğlalar, raflar, aksesuarlar vb.) delikleri açık bırakarak tekrar edilmelidir. Her iki işlemde elde edilen bilgiler gelecekteki ısı işlemlerin ne kadar süreceği konusunda oldukça doğru tahmin yapılmasını sağlamaktadır. En önemli unsur 'artış' kapasitesidir, ancak bir fırının ısıyı ne kadar hızlı kaybettiğinin kaydedilmesi de değerli bir bilgidir (Stone, 1996, s.15).

Isıl işlem evrelerinde camın kontrolünü sağlamak için, kullanılan fırın içerisinde ısının nasıl dağıldığını anlamak gerekir. Fırın ısısı nadiren eşittir. Üstten ısıtılmalı fırınlar merkezi daha sıcak olma eğilimindedir. Yandan ısıtılmalı fırınların çevresi sıklıkla daha sıcaktır. Pirometre, fırın haznesinin yalnızca bir noktasını okur ve camın maruz kaldığı ısıl işlemle ilgili doğru bir gösterge vermeyebilir. Yeni bir fırında çalışırken, birkaç ön test yapılması, fırının ısıtma düzenlerinin anlaşılmasına ve sonuçların daha iyi kontrol edilmesine yardımcı olur (http-25). Pirometre, fırın içindeki iki veya daha fazla yere yerleştirilen termokupllar tarafından algılanan sıcaklıkları göstermektedir. Pirometre tarafından toplanan ve görüntülenen bilgiler, camın ve fırının nasıl ısındığını ve soğuduğunu ve tavlama sırasında oluşan gerilimleri önlemek için fırın sıcaklıklarının değiştirilmesinin gerekip gerekmediğini gösterir (http-8). Ekipman hakkındaki bilgiyi daha da arttırmak için pirometrik koniler kullanılabilir. Koniler fırında sadece farklı pozisyonlarda değil, aynı zamanda farklı seviyelerde yerleştirilmelidir. Bu, fırının sıcak veya soğuk noktanın nerede olduğunu, pirometre okumasının ne kadar doğru olduğunu ve sıcaklığın bir seviyeden diğerine ne kadar değiştiğini ortaya çıkaracaktır. Koniler 600°-804 °C' lik sıcaklıklar için uygundur (Stone, 1996, s.15).

Füzyonun gerçekleştiği sıcaklık aralığının yüksek ucunda yani maksimum çalışma sıcaklığında fırının farklı alanlarında; fırın tipine, boyutlarına, yalıtımına, enerji gücüne bağlı olarak farklı sonuçlar elde edilebilir.

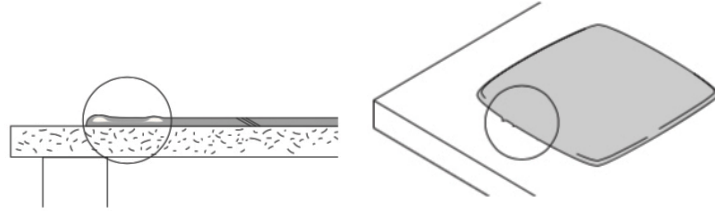
Üstten ısıtılmalı bir fırında, rafın köşeleri veya çevresi genellikle merkezden daha soğuktur. Fırının merkezi, kenarlardan veya köşelerden daha sıcak olduğu için, bitmiş parça düz olmayan bir yüzeye sahip olabilir (Görsel 4.9) (http-25).



Görsel 4.9. Camda Düzensiz Yüzey Oluşumu

https://www.bullseyeglass.com/images/stories/bullseye/PDF/TechNotes/technotes_01.pdf (Erişim tarihi:10.03.19)

Yandan ısıtılmalı bir fırında da ise sıcaklık, rafın çevresinde ortada olduğundan daha yüksek olacaktır. Bu da kenarların daha çabuk birleşerek, cam tabakaları arasında havayı hapsedmesine ve kabarcıklara, ince, düzensiz kenarlara (“iğne ucu”) neden olabilir (Şekil 4.10) (http-25).



Görsel 4.10. Kabarcıklar ve İğne Uçlu Kenarlar

https://www.bullseyeglass.com/images/stories/bullseye/PDF/TechNotes/technotes_01.pdf (Erişim tarihi:10.03.19)

Tavlama sıcaklığını planlarken fırın tipi de dikkate alınmalıdır. Üstten ısıtılmalı elemanlara sahip bir fırın, tek termokuplu ve cam seviyesinin üzerinde olması durumunda, tavlama sıcaklığının 5-20 °C artırılması önerilir. Tersine, camın çok ince veya daha fazla bozulma olasılığı varsa tavlama sıcaklığını 10-25 °C düşürmekte fayda vardır, ancak daha uzun bir tavlama süresi gerektirecektir (Stone, 1996, s. 29).

Yandan ısıtılmalı bir fırında pişirme sırasında katmanlar arasında havanın sıkışmasını önlemek için, camın çevresi seramik elyaf kâğıt veya tuğla ile yalıtılmalıdır

ve/veya 621-677 °C aralığında bir program ekleyerek cam tabakaları arasındaki havayı sıkıştırarak hava çıkışı sağlanabilir.

Fırın rafın büyük tuğla veya şeritler üzerinde oturtulmamalıdır. Fırın rafı ve destekleri arasındaki temas miktarı en aza indirilmedir. İçi boş destekler daha çok önerilmektedir.

Son olarak, bir rafa birkaç farklı proje yerleştiriliyorsa, fırın ısıtma düzeninden faydalanmaları sağlanmalıdır. Örneğin, pirometre etrafında fırın daha soğuk ölçülüyorsa, daha yumuşak camları dışarıya ve daha sert camları rafın ortasına koymak uygun olabilir (http-25).

Unutulmaması gereken kullanılan fırının ısıyı cama aktarma şeklini anlamak, füzyon projelerin başarısını sağlamada önemli bir faktördür. Fırının ne kadar zamanda ısındığı ve soğuduğu konusunda farklılıklar varsa bazı düzeltmeler yapılabilir. Ancak fırın düzgün bir şekilde ısınmıyorsa değiştirmek en iyi çözümdür. Fırın, cam atolyesinde bulunan en önemli araçtır ve düzensiz ısınan bir fırın, zaman kaybına ve iş kaybına neden olabilir.

BEŞİNCİ BÖLÜM

5. KİŞİSEL UYGULAMALAR

Bu bölümde, füzyon tekniği ile gerçekleştirilen uygulamalara, teknik sürece ilişkin bilgilere, üretim aşamalarına ve uygulamaların manifestolarına yer verilmiştir. Uygulamalarda effetre plaka cam kullanımı tercih edilmiştir. Bunun nedeni ülkemizde tedarik edilebilirlik açısından daha kolay olmasıdır.

5.1. Uygulama Aşamaları

Uygulamalarda effetre plaka cam kullanılmıştır. Uygulamalar çok katmanlı çalışmalar olarak tasarlanmış ve dört çalışma da dokuz katmandan oluşmaktadır. Tasarımların kesimlerinde su jeti kesim teknolojisinden faydalanılmıştır. Katmanlar arasında elle kesilmiş renkli effetre plaka cam parçaları ve cam çubuklar kullanılmıştır. Aynı zamanda füzyon tekniğinde kullanım için üretilmiş cam boyası ile çizimler yapılmıştır.

Cam katmanlarının kesiminden sonra fırına yerleştirilmesi sırasında ve pişirim süresince katmanlar etrafında herhangi bir destek malzeme kullanılmamıştır. Katmanların bozulmaması için kontrollü ön ısıtma işlemi uygulanmıştır. Tablo 5.12’de kullanılan fırın programı verilmiştir. 600°C’de gözlem yapılmıştır. Bu sıcaklıkta katmanlar birbirine yapışmış ancak camın kenarlarında istenilen yumuşama gerçekleşmemiş bu nedenle 650°C ve 675°C’de tekrar gözlem yapılmıştır. Sonrasında 700°C’de 10 dakika beklenip, tavlama evresine geçiş yapılmıştır. 700 °C de 10 dakika bekleme sonrasında, uygulamalar orijinal yüzey alanının dışına taşmış ve formlarda hafif bir yayılma meydana gelmiştir.

Tablo 5.1. Kullanılan Fırın Programı

Kullanılan fırın programı- effetre plaka cam 9 katman için

DAKİKA	DERECE	DAKİKA
600 ´	400° C	90´
600´	700° C	60´
skip	535° C	240´
900´	455° C	180´
800´	50° C	0´

600 °C' ye ulaştığında gözlem yapıldı
650 °C' de gözlem yapıldı
675 °C'de gözlem yapıldı
700 °C'de 10 dk bekledikten sonra soğutma evresine geçildi.

Tavlama sıcaklığı

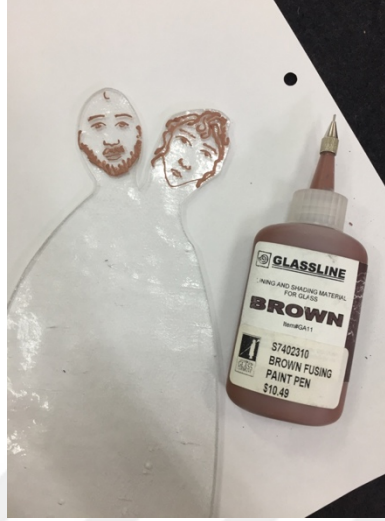
Gerilim sıcaklığı

Görsel 5.1, kesilen camları istiflemeye geçmeden önce temizliği yapılmış kalay yüzeyi tespit edilmiş ve küçük parçaların katmanların arasında kayma yapmaması için hızlı yapıştırıcı kullanılmıştır.



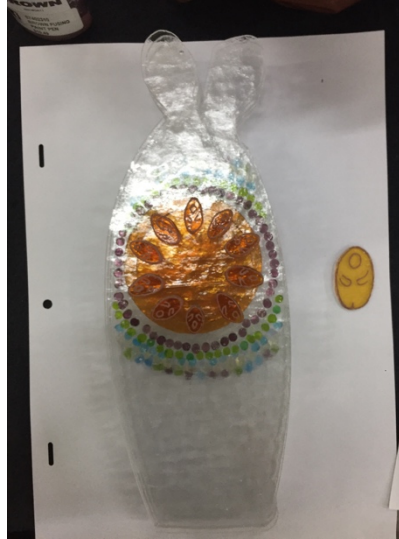
Görsel 5.1. Kesilmiş plaka camların arasına diğer cam parçalarının yerleştirilmesi

Katmanlar arasında çizim gerektiren yerlerde füzyon boyaıyla kontur çizimleri yapılmıştır (Görsel 5.2).



Görsel 5.2. Füzyon boyası ile çizim

Görsel 5.3, her bir katmanın istiflenmesinde aşağıdan yukarı doğru bir yol izlenmiş, çizimi yapılan parçalar katmanlar arasına yerleştirilerek parçaların kaymaması için hızlı yapıştırıcı kullanılmıştır.



Görsel 5.3. Cam parçalarının ayrı katmana yerleştirilmesi

Görsel 5.4, merkezinde boşluk olan parçaların yerleştirilmesinde hassas davranılmış, katmanların kaymaması için fırın zeminin terazide olması dikkat edilmiştir. Uygulamaların ayrı bir yerde düzenlenmesi yapılmış ve yapıştırıcı ile sabitlenmiştir.



Görsel 5.4. *Kesilen parçaların düzenlenmesi*

Görsel 5.5, merkezinde boşluk olan uygulamaların kaymaması ve dengede olması için dengeleyici şeffaf cam parçaları yerleştirilmiştir.



Görsel 5.5. *Kesilen parçaların düzenlenmesi*

Görsel 5.6, pürüzsüz bir cam zemini elde etmek için bütün uygulamalar fırına yerleştirilmeden önce fırın zemini, ayırıcı ile pürüzsüz ve düz bir hale getirilmiştir. Uygulamalar fırının merkezine eşit ısı alacak şekilde yerleştirilmiş, ayrıca katmaların erimesini rahat kontrol edebilmek için çalışmaların fırın kapağının açılma yönüne yakın yere yerleştirilmesine özen gösterilmiştir.



Görsel 5.6. *Uygulamaların fırına yerleştirilmesi*

5.2. Yapılan Kişisel Uygulamalar

Uygulamaların ana konusu anne ve aile kavramları olarak belirlenmiştir ve bu doğrultuda eskiz araştırmaları yapılmıştır. Tüm uygulamalar füzyon tekniği ile gerçekleştirilmiştir.

5.2.1. İçimdeki boşluk

Hayatta en sevdiğin insanı kaybetmek en derin, en yeri doldurulamayacak durumdur. Boşlukta kalmışçasına yaşamaya devam edersin ama boşluk hep oradadır.

Görsel 5.7, merkezinde boşluğu olan bir uygulamadır. Dış formu istenilen şekilde kalmıştır ancak içe doğru yayılma meydana gelmiştir. Bu nedenden dolayı maksimum çalışma sıcaklığını 675°C’de 10 dakika bekleme olarak planlamanın daha sağlıklı bir hacim kontrolü için uygun olduğu tespit edilmiştir.



Görsel 5.7. İçimdeki Boşluk
(Fotoğraf- Çiğdem Yurtseven Çiçek)
30x14x3 cm

5.2.2. Boşlukta sarılalım

Bu hayattan göçüp giderler ve geride kalanın elleri boş kalır. Ona bir daha dokunamayacak, tutamayacak olmak korkutur. Ama ellerimiz hep bir...

Görsel 5.7'deki gibi merkezinde boşluğu olan bir uygulamadır ancak Görsel 5.8'in boşluğu daha küçük ve form olarak bozulma eğilimi azdır. Bu yüzden uygulanan fırın programı bu uygulama için problem yaratmamıştır.



Görsel 5.8. *Boşlukta Sarılalım*
(Fotoğraf- Çiğdem Yurtseven Çiçek)
30x14x3 cm

5.2.3. Tut elimi

Çocukken kaybolmaktan korkarsın, aslında büyümüş olsanda hep korkarsın annen elinden tutsun istersin ömrün boyunca. Aslında kaybolmak güzeldir, çocuk kalmak daha güzel. Bak kayboldu, bulamıyorum...

Görsel 5.9, uygulama çok katmanlı ve boşluğu daha keskin ve ince hatlara sahip olduğu için içe doğru hafif bir yayılma meydana gelmiştir. Görsel 5.7 için önerilmiş maksimum çalışma sıcaklığını 675°C’de 10 dakika bekleme yapmak, bu uygulama için de önerilmektedir.



Görsel 5.9. Tut Elimi
(Fotoğraf- Çiğdem Yurtseven Çiçek)
30x14x3 cm

5.2.4. Bir-likte

Birbirinden farklı bireylerin birlikte kurduğu hayatta iş birliği yapması, büyümesi, paylaşması bir olması. Yaşamı beraber kurmak, eksilirken çoğalmak, yaşıyoruz...

Görsel 5.10, uygulamada küçük cam parçaları ve çubuk cam kullanımı ağırlıklıdır ve yerleştirilen bu parçalar üst katmana yakın olduğu için ısıt işlem sonrasında hava kabarcıkları oluşmuştur. Bu hava kabarcıkların sayısını azaltmak için küçük parçaların alt katmanlara yerleştirilmesi daha doğru olacaktır.



Görsel 5.10. Bir-likte
(Fotoğraf- Çiğdem Yurtseven Çiçek)
30x12x3 cm

SONUÇ

Fırında cam şekillendirme yöntemlerinden biri olan füzyon tekniğinin kökeni kesin olarak bilinmese de, literatürde füzyon kelimesinin ısıtma işlemle camların kaynaşması, birleşmesi durumunu ifade eden bir terim olarak yaygın bir kullanımı olduğu görülmüştür. Füzyonun bir teknik olarak kullanıldığı durumlarda, terim olarak kullanımından ayrıldığı nokta; tekniğin uygulamalarında malzeme olarak daha çok plaka cam kullanılmasıdır. Füzyon tekniği; bir ya da daha fazla cam katmanların ısıtma işlem sonucu eritilerek ya da yumuşatılarak biraraya getirme yoluyla şekillendirmesi işlemleri bütününe verilen addır. Füzyon tekniği aynı zamanda farklı adlandırılan bazı tekniklerin (çökertme tekniğinde olduğu gibi) üretim basamaklarından birini de oluşturmaktadır.

Arkeolojik bulgular füzyon tekniğini Mısırlıların uyguladığını ancak Romalıların bu tekniği geliştirdiğini göstermektedir. Tarihsel süreçte bu tekniğin genellikle çökertme tekniği ile birlikte uygulandığı görülmektedir. Füzyon tekniği, üfleme çubuğunun icadı ile yaklaşık iki bin yıl kullanım etkinliğini kaybetse de Endüstri Devrimi ile yaşanan teknolojik gelişmelerin etkisiyle yeniden doğuşu yaşamıştır. Çağdaş cam sanatında, füzyon tekniği uygulamalarının antik dönem füzyon yöntemlerinin genel işleyiş süreciyle benzer özellikler taşıdığı gözlemlenmiştir. Ancak çağdaş dönemde yeni materyellerin mevcudiyeti ve teknolojinin kullanımı ile füzyon tekniğinin büyük ölçüde geliştiği görülmektedir.

Tez kapsamında tekniğin öncelikle genel prensipleri ve uygulama türleri ve teknikte kullanılan gereçler incelenmiştir. Füzyon tekniği uygulamalarında teknik sınırlılıklar, camın ısı karşısındaki davranış özellikleri, kontrol noktaları ve ısıtma işlem evreleri gibi pek çok değişken söz konusudur. Uygulamalarda olumlu sonuca ulaşmada bu değişkenler en temel belirleyicilerdir. Bu bağlamda temel prensipler; uyumluluk, tavlama ve gerilim sıcaklığı, ısıtma işlem evreleri ve değişkenler olmak üzere üç başlık altında incelenmiştir. Füzyon tekniği uygulamalarında anlaşılması gereken ilk konu ‘uyumluluktur’ ve kullanılan camların uyumlu olması en önemli şarttır. Cam uyumluluğunun iki ölçütü vardır; genleşme katsayısı (coefficient of expansion) ve viskozite. Genleşme katsayısı, camın sıcaklığa bağlı olarak genleşme ve daralma yüzdesini ifade eden sayıdır. Viskozite ise moleküllerinin harekete karşı gösterdiği dirençtir ve sıcaklık ile doğrudan ilgilidir. Bu iki özellik farklı camların uyumluluğunu

belirlemektedir. Tavlama işlemi, camda oluşan gerilimleri engellemek için gerekli zaman ve sıcaklıktır. Bu iki değişken camın türüne, kalınlığına ve boyutuna göre uzayıp kısalabilmektedir. Tavlama, ısıtma işlem evresinin en önemli bölümünü oluşturduğu tespit edildiği için daha detaylı bir biçimde ele alınmıştır. Füzyon tekniği ile bir uygulama yapmak için ısıtma işlem evrelerini iyi anlamak gerekmektedir. Bu süreç aslında ısıtmak ve soğutmak olmak üzere iki temel üzerinde kurgulanır. Aynı zamanda sıcaklık ve zaman en önemli iki parametredir. Bunlardan biri hatalı ise tüm evreler etkilenir. Çeşitli kaynaklar incelendikten sonra Bullseye firmasının önermiş olduğu ısıtma işlem evreleri referans alınmıştır. Bu çalışmada ısıtma işlem evreleri sekiz başlık altında incelenmiştir; ön ısıtma evresi, hızlı ön ısıtma evresi, hızlı ısıtma evresi, maksimum çalışma sıcaklığı, hızlı soğutma evresi, tavlama evresi, tavlama soğutma evresi, oda sıcaklığına soğutma evresi. Genel prensiplerin ayrı ayrı önemi vurgulanmış ve detaylı bir şekilde incelendikten sonra füzyon tekniğinin uygulama türleri ele alınmıştır. Füzyon tekniği uygulamalarında en önemli faktörlerden bir diğeri de sıcaklıktır, cama uygulanan ısıtma işlemler sonucu yüzey farklılıkları ve fiziksel değişiklikler meydana gelir. Yarı füzyon, tam füzyon, yüksek ısıda füzyon olarak üç uygulama türü şeklinde tasnif edilmiş, ayrıca eklemeler de füzyon uygulamalarına dahil edilmiştir. Füzyon uygulamaları yapılacak cam birleşiminin fırınlandığı en üst sıcaklığa bağlıdır ve bu yüzden uygulamalar radikal olarak birbirinden ayrılır ve çeşitlenir.

Füzyon tekniğinde birçok farklı cam türü ile farklı uygulamalar yapılabilmektedir. Ancak yaygın olarak kullanılan cam türünün, plaka camları olduğu sonucuna varılmıştır bundan dolayı düz camların üretim yöntemleri ve çeşitleri daha detaylı olarak incelenmiştir. Ayrıca füzyon tekniğinde plaka camların arasında, üstünde ya da tek başına kullanılmak üzere üretilmiş olan birçok dekoratif cam çeşiti bulunmaktadır ve bunlar da ayrı ayrı aktarılmıştır. Cam sanatının diğer tekniklerinde de olduğu gibi füzyon tekniği için de bazı temel ekipmanlara ihtiyaç duyulmaktadır ve kullanılacak olan ekipman ve malzemeler üzerinde durulmuştur.

Araştırmada ortaya çıkan verilere göre yaygın karşılaşılan problemler; ısıtma işlem evrelerinde karşılaşılan problemler ve diğer problemler ve çözüm yolları olmak üzere iki genel başlık altında ele alınmıştır. Füzyon tekniğinde yaygın karşılaşılan problemlerden birçoğu ısıtma işlem evrelerinde meydana gelmektedir. Bu evrelerde meydana gelen problemler; ön ısıtma evresinden maksimum çalışma sıcaklığına kadar, maksimum çalışma sıcaklığı evresinde ve tavlama evresinde karşılaşılan problemler

olmak üzere üç başlıkta incelenmesinin daha doğru olacağı belirlenmiştir. Ön ısıtma evresinden maksimum çalışma sıcaklığına kadar karşılaşılan en yaygın problemler, ısıtma hızından kaynaklı çatlama ve hava kabarcığı oluşumlarıdır. Ön ısıtma evresinde meydana gelen çatlamların iki nedeni bulunmaktadır. Birincisi termal şokun nedenleridir, yani camın bir kısmı, diğer kısmına göre daha hızlı ısınırken ya da soğurken meydana gelmektedir. Termal şok olmaması için ısıtma işlemin ilk aşamasında (600 °C'nin altında) ısı artışı daha yavaş olması önerilmektedir. İkincisi ise kalıptan ya da ayırıcıdan kaynaklı nem çatlama ya da nemden kaynaklı çatlama engeli olmaktır için ön ısıtma ve kurutma işlemi önerilmektedir. Bu evrede oluşan hava kabarcıklarının oluşumu ise hızlı bir biçimde maksimum çalışma sıcaklığına geçilmesi durumunda meydana gelmektedir. Bu hatanın oluşmaması için ön ısıtma evresini uzatmak ya da deformasyon noktasında bekleme yapmak katkı sağlayabilir.

Maksimum çalışma sıcaklığı evresinde yaygın karşılaşılan problemler; şekil bozulmaları, renk değişimleri, devitrifikasyon ve hava kabarcığı oluşumları olarak belirlenmiştir. Şekil bozulmaları, özellikle tam füzyon uygulamalarında yaygın karşılaşılan problemlerden birisidir. Şekil ya da yüzey alanının bozulmasını en aza indirmek için üst kattaki plakalar kenardan uzak yerleştirilmeli, destek malzemeler ya da kalıp kullanımı önerilmektedir. Renk değişimlerinin nedeni ise daha çok çalışma sıcaklığı sırasında yüksek sıcaklığa maruz bırakılması sonucu oluşmaktadır. Özellikle kırmızı ve turuncu gibi renklerin kullanımında meydana gelmektedir bu yüzden bu renklerin kullanımına dikkat edilmeli ya da deneme yapılması önerilmektedir. Devitrifikasyon oluşumunun birçok nedeni vardır. En yaygın oluşum nedeni ise camların kristalleşme sıcaklık aralığında uzun süre bekletilmesidir. Kristalleşme sıcaklık aralığını DTA (diferansiyel termal analiz) cihazı ile saptamak mümkündür. Ayrıca istenen sonucu mümkün olan en düşük sıcaklıkta elde etme genel bir prensip olmalıdır. Bu evrede karşılaşılan diğer bir problem ise hava kabarcığıdır. Füzyon tekniğinde, çok katlı uygulamalarda yaygın olarak hava kabarcıkları oluşumu ile karşılaşılmaktadır. Hava kabarcığının oluşumu; ısıtma işlem sonucu, malzemeden kaynaklı ya da tasarımdan kaynaklanabilir. Genellikle maksimum çalışma sıcaklık aralığının çok hızlı geçilmesinden kaynaklanmaktadır bundan dolayı daha yavaş geçilen bir ısıtma programı bu hava kabarcığı oluşumuna engel olabilir.

Tavlama evresinde karşılaşılan yaygın problem ise çatlama. Tavlama çatlakları, camın yüzeyinden iç kısmına kadar parçayı bir bütün olarak bölme eğilimindedir; bu

çatlaklar, sapmalar olmadan renkler üzerinde ilerler. Çatlakların ana nedeni genellikle yüzey ile iç kısım arasında var olan gerilimden kaynaklanmaktadır. Bu sorunun oluşmaması için tavlama sıcaklığında bekletme süresini uzatmak ve tavlama aralığının alt yarısını daha yavaş soğutmak olmalıdır. Bazı problemler yalnızca tek evrede meydana gelirken örneğin çatlama farklı evrelerde ya da uyumsuzluktan da meydana gelmektedir. Çatlamanın şekline bakarak neden kaynaklandığını tespit etmek mümkündür ve buna göre bir çözüm yolu izlenebilir.

Füzyon tekniği uygulamalarında ısıtım işlem evreleri dışında sonucu etkileyecek başka nedenlerinde varlığı saptanmıştır. Bunlar; uyumsuzluk, kirli yüzey ve kullanılan fırın tipi olarak üç başlıkta incelenmiştir. Uyumsuzluk kavramı; iki veya daha fazla cam türünün birbirleriyle temas halindeyken ısıtım işlem uygulandığında davranışlarına dayanır. Isıtım işlem döngüsünden sonra camların ayrılmasına, nesnenin çatlamasına ve kırılmasına neden olabilecek iç gerilimler yoksa kullanılan camlar uyumludur denilir. Uyumsuzluk nedeniyle çatlamış bir parçanın kurtarılması mümkün değildir. Ancak uygulama öncesinde bazı testlerin, deneylerin yapılması oluşabilecek çatlama önleyebilmektedir. Kullanılacak olan camları ısıtım işleminden önce temizlemek olumsuz etkilerden kaçınmak için önemlidir. Cam kesme sıvısı, yağlar, mineraller, tuzlar, tozlar, lifler, çıkartma artıkları, parmak izleri ve kalem izleri gibi soruna neden olan kirletici maddelerin bitmiş proje üzerinde etkileri görülebilir ve camda kristal yapıların büyümesi gibi yani devitrifikasyona neden olmaktadır. Kullanılan fırın tipi, uygulamanın son halini etkileyen faktörlerden bir tanesidir. Isıtım işlem evrelerinde camın kontrolünü sağlamak için, kullanılan fırın içerisinde ısının nasıl dağıldığını anlamak gerekir. Üstten ısıtım fırınlar merkezi daha sıcak olma eğilimindedir. Yandan ısıtım fırınların çevresi sıklıkla daha sıcaktır. Füzyonun gerçekleştiği sıcaklık aralığının yüksek ucunda yani maksimum çalışma sıcaklığında fırının farklı alanlarında; fırın tipine, boyutlarına, yalıtımına, enerji gücüne bağlı olarak farklı sonuçlar elde edilebilir. Unutulmaması gereken kullanılan fırının ısıyı cama aktarma şeklini anlamak, füzyon projelerin başarısını sağlamada önemli bir faktördür. Fırının ne kadar zamanda ısındığı ve soğuduğu konusunda farklılıklar varsa bazı düzeltmeler yapmak mümkündür, ancak fırın düzgün bir şekilde ısınmıyorsa değiştirmek en iyi çözümdür.

Tez kapsamında yapılan uygulamalarda karşılaşılan problemler göz önünde bulundurulduğunda; füzyon uygulamalarında her cam formunun kendine özgü yapısının fırın programlarında temel belirleyici olduğu görülmektedir. Aynı fırın ve fırın

programıyla eşdeğer kalınlığa sahip parçaların farklı etkilerle sonuçlanabileceği unutulmamalıdır. Bu nedenle özellikle çok katlı füzyon uygulamalarında sadece kalınlık değil cam formun özelliklerine (formdaki boşlukluklar, şekiller vb.) göre de bir program planlaması yapılmalıdır. Bu bağlamda bu tarz çalışmaların ayrı ayrı fırınlama işlemine sokulması en sağlıklı sonuca ulaşmada önemlidir. Son olarak bu tez çalışmasıyla füzyon tekniği uygulamaları ve bu teknikte yaygın karşılaşılan problemlerin çözüm yollarına ilişkin referans olabilecek Türkçe kaynak olması beklenmektedir.



KAYNAKÇA

- Ağatekin, M. (2009). Cam Seramik Etkileşimleri. *Hacettepe Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Sanat Yazıları Dergisi*, 17, s.143.
- Beveridge, P., Domenech, I., Pascual, E. (2005). *Warm Glass*. New Yor: Lark Books.
- Bialek, G. (2017). *Inner space in sculpture: the use of metal inclusions in glass*. Yayımlanmış Doktora Tezi. Sunderland: University of Sunderland
- Bray, C. (2001). *Dictionary of Glass*. London: A&C Black Publishers.
- Cummings, K. (2001). *Techniques of Kiln-formed Glass*. London: A&C Black Publishers.
- Cummings, K. (2002). *The History of Glassforming*. London: A&C Black Publishers.
- Cummngs, K. (2011). *Çağdaş Cam Sanatı* (Çev: M. Ağatekin). İzmir: Karakalem Kitapevi Yayınları.
- Cutler, V. (2012). *New Technologies in Glass*. London: A&C Black Publishers.
- Halem, H. (1996). *Glass Notes*. Londra: A&C Black Publishers. Kent: Franklin Mills Press
- Stone, G. (2000). *Firing Schedules for Glass* .Melbourne: Yazar tarafından basılmıştır.
- Petrie, K. (2006). *Glass And print*. London: A&C Black Publishers.
- Lundstrom, B. (1983) *Kiln Firing Glass, Glass Fusing Book 1*. Colton:Vitreous Group/Camp Colton.
- Mitchell, J. (2017). *Precision Air entrapment through aplied digital and kiln technologies: a new technique in glass art*. Yayımlanmış Doktora Tezi. Sunderland: University of Sunderland
- Tait, H. (2012). *5000 Years of Glass* .Londra: British Museum Press.
- Türk Dil Kurumu
- Walker, B. (2002). *Contemporary Warm Glass*. Clemmons, Four Corners International, Inc.
- Walker, B. (2010). *Contemporary Fused Glass*. Clemmons, Four Corners International, Inc.
- Watkins-Baker, H. (2010). *Kiln Forming Glass*. Ramsbury: Marlborough, The Crowood Press Ltd.

İnternet kaynağı

- http-1: <https://en.oxforddictionaries.com/definition/fusion> (Erişim tarihi: 12.05.2018)
- http -2: <https://www.bullseyeglass.com/what-is-fusing.html> (Erişim tarihi: 10.03.2018)
- http-3: <https://www.cmog.org/artwork/mosaic-glass-bowl> (Erişim tarihi: 10.03.2018)
- http-4: <http://www.bullseyeglass.com/how-it-all-began.html> (Erişim tarihi: 12.03.2018)
- http-5: https://www.bullseyeglass.com/images/stories/bullseye/PDF/TechNotes/technotes_04.pdf (Erişim tarihi: 03.04.18)
- http-6: <https://www.cmog.org/article/annealing-glass> (Erişim tarihi: 18.05.18)
- http-7: [https://www.bullseyeglass.com/images/stories/bullseye/PDF/TechNotes/technotes_03\).pdf](https://www.bullseyeglass.com/images/stories/bullseye/PDF/TechNotes/technotes_03).pdf) (Erişim tarihi: 22.01.19)
- http-8: https://www.bullseyeglass.com/images/stories/bullseye/PDF/TechNotes/technotes_07.pdf (Erişim tarihi: 15.03.19)
- http-9: <http://www.sglavo.it/Contacts/Vetro/STV0607/flat%20glass.PDF> (Erişim tarihi: 05.01.19)
- http-10: (<http://www.spectrumglass.com/stained-glass/tour/ribbon.asp>) (Erişim tarihi: 05.01.19)
- http-11: (<http://en.villumwindowcollection.com/all-about-windows/glass/flat-drawn-glass/>) (Erişim tarihi: 20.01.19)
- http-12: <https://www.pilkington.com/en/global/about/education/sir-alastair-pilkington> (Erişim tarihi: 20.01.19)
- http-13: <https://www.cmog.org/article/pool-tin-float-glass> (Erişim Tarihi: 22.01.19)
- http-14: <http://www.cbs-dichroic.com/faq.asp> Erişim Tarihi: 10.01.19
- http-15: http://www.bullseyeglass.com/images/stories/bullseye/PDF/TipSheets/tipsheet_03.pdf (Erişim tarihi: 10.01.19)
- http-16: <https://www.creativeglassshop.co.uk/page/27/uv-tin-side-detector.html> (Erişim tarihi: 23.02.2019)
- http-17: http://www.bovardstudio.com/gallery/windows_for_the_soul_pages.aspx?pg=047-Glass-Painting.html (Erişim tarihi: 10.02.19)
- http-18: https://www.bullseyeglass.com/images/stories/bullseye/PDF/other_technical/kiln_glass_safety.pdf (Erişim tarihi: 26.02.19)
- http-19: <https://skutt.com/troubleshooting-glass-defects-thermal-shock-cracks/>

- http-20: https://www.bullseyeglass.com/images/stories/bullseye/PDF/TechNotes/technotes_05.pdf (erişim tarihi:12.03.19)
- http-21: <http://www.bullseyeglass.com/what-are-striking-glass-colors.html> (Erişim tarihi:06.03.19)
- http-22: <https://www.bullseyeglass.com/what-is-devitrification-or-devit.html> (Erişim tarihi:15.03.19).
- http-23: <http://www.spectrumglass.com/arteducators/library/troubleshooting.pdf> (Erişim tarihi: 12.03.19)
- http-24: https://www.bullseyeglass.com/images/stories/bullseye/PDF/other_technical/glass_cleaning_basics.pdf (Erişim tarihi: 15.03.19)
- http-25: https://www.bullseyeglass.com/images/stories/bullseye/PDF/TechNotes/technotes_01.pdf (Erişim tarihi: 15.03.19)

ÖZGEÇMİŞ

Çiğdem Yurtseven Çiçek

Doğum tarihi ve yeri: 03/06/1986

EĞİTİM BİLGİLERİ

2015-2019 Anadolu Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü, Cam Anasanat Dalı, Eskişehir

02/2014 University of the Arts London, Central Saint Martins, Enhanced Illustration Short Course, Londra

10/2013-02/2014 University of the Arts London, Language Centre, Academic English, Londra

2012-2013 Istituto Europeo di Design, IED, summer course, Creative Illustration Barcelona

2010-2011 Eurocentres Language School Cambridge/İngiltere

2006-2011 Anadolu Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi, Cam Bölümü, Eskişehir

2004-2005 Yeditepe Üniversitesi, İşletme Bölümü (Almanca), İstanbul

2001-2004 Özel Atayurt Okulları Eskişehir

WORKSHOPLAR

2012- IED Barcelona- workshop, illüstrator Javier Jean ve suluboya sanatçısı Jordi Vila Delclòs

2009- İmece Sempozyumu, workshop, cam sanatçıları; Colin Webster ve Jiri Harcuba

2006- Anadolu Üniversitesi, Yerler Yerleştirmeler Yer Değiştirmeler, Tasarım Etkinliği,

Grup Projesi, Grup Lideri: Arzu Kaprol

2008- Workshop, Ushio Konishi ve Fujiko Enami

2007- Workshop, Ursula Merker

2007- Seres 2007- 4. Uluslararası Seramik, Cam, Emaye, Sır ve Pigment Kongresi

2007- Workshop, cam sanatçısı, Maree Sare, pate de verre tekniği

İŞ / STAJ DENEYİMLERİ

2016- Eskişehir Olgunlaşma Enstitüsü, Usta Öğretici

2013- Panpa Dergi, Freelance İllustratör, İstanbul

2011- Eskişehir Tepebaşı Belediyesi Özdilek Sanat Merkezi Eskişehir

2010- Paşabahçe Şişe Cam A.S. Eskişehir

SERGİLER

2017- ‘Kaleydoskop’ Karma cam sergisi, D’ ART GALERİ, İstanbul

2016- Lisansüstü 2016, Anadolu Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü Lisansüstü

Öğrenci Karma Sergisi, Eskişehir

2016- Odunpazarı 4. Uluslararası Cam Festivali, Çağdaş Cam Sanatları Sergisi, Eskişehir

2012- İllüstrasyon, Karma Proje Sergisi, IED, Barcelona

2011- Camdan Heykeller -grup sergisi-15 Aralık 2011- 06 Ocak 2012, Artisan Sanat Galerisi, İstanbul

2011- Şimdiki Zamanlar -Öğrenci Projeleri Sergisi- 20 Temmuz- 02 Ekim 2011, Pera Müzesi, İstanbul

2010- Cam Sergisi -karma sergi- 08-17 Haziran 2010, Çankaya Belediyesi Çağdaş Sanatlar Merkezi, Ankara

2010- İstanbul Kültür Üniversitesi, Karma Cam Sergisi, İstanbul

2008- Art Forum Ankara - Karma Cam Sergisi, Ankara

BİLGİSAYAR BİLGİSİ

Adobe Photoshop -Illustrator- Indesign-Microsoft Office Programları

YABANCI DİLLER

İngilizce- ileri seviye

Almanca- orta seviye