

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KÜÇÜK BOYUTLU KÜRESEL CAMLAR VE ÜRETİMİNİ
ETKİLEYEN DEĞİŞKENLERİN BELİRLENMESİ**

Met. ve Malz. Müh. Ufuk Ali SAYLAN

FBE Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı Üretim Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

154340

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Ahmet EKERİM (YTÜ)

prof. Dr. Ahmet Ekerim
Prof. Dr. Cemalettin Yaman
Prof. Dr. Aysegül Akdoğan

İSTANBUL, 2004

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	iv
KISALTMA LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
ÖNSÖZ.....	ix
ÖZET.....	x
ABSTRACT.....	xi
1 GİRİŞ.....	1
2 CAM KÜRECİK HAMMADDELERİ.....	3
2.1 Camın Ana Hammaddeleri.....	5
2.2 Camı Eriten Yardımcı Maddeler.....	6
2.3 Stabilizatörler.....	6
2.4 İkincil Bileşenler (Yardımcı Bileşenler).....	6
3 CAM KÜRECİKLERİN FİZİKSEL, KİMYASAL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ.....	8
3.1 Fiziksel Özellikler.....	8
3.2 Kimyasal Özellikler.....	8
3.3 Mekanik Özellikler.....	9
3.3.1 Basma Dayanımı.....	9
3.3.2 Çekme Dayanımı.....	14
3.3.3 Elastiklik Modülü.....	14
3.3.4 Poisson Oranı.....	14
4 KÜRESEL CAMLARIN KULLANIM YERLERİ.....	15
5 CAM KÜRECİK ÜRETİM YÖNTEMLERİ.....	20
5.1 Alev Mızrağı Yöntemi.....	20
5.2 Elektrik Ark Yöntemi.....	32
5.3 Diğer Yöntemler.....	34
6 DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	35
6.1 Deneyde Kullanılan Cihazlar.....	35
6.2 Deneylerin Yapılışı.....	40
6.2.1 Cam Partiküllerinin Akış Hızının Ve Boyutlarının Belirlenmesi.....	43
6.2.2 Küreselleştirme Deneyi.....	48

7	SONUÇ VE TARTIŞMA.....	50
8	SONUÇLAR.....	56
	KAYNAKLAR.....	58
	ÖZGEÇMİŞ.....	60



SİMGE LİSTESİ

γ	Camın poisson oranı
F	Lorents kuvveti
J	Elektriksel deşarj akım vektörü
B	İndüksiyon değeri
D_p	Cam partiküllerinin akış hızı
r_d	Cam partiküllerinin sisteme gönderildiği deliğin çapı
k	Pseudo-katılık değeri
c	Camın ısınma ısısı



KISALTMA LİSTESİ

PMMA	Polimetalmetaklirat
HF	Hidroflorik Asit
ASTM	Amerikan Test ve Malzeme Kurumu (American Society for Testing and Materials)
SEM	Tarama Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope)
U.V	Ultraviolet ışınları



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1	Nano mertebede yapılan basma deneyinin şematik olarak gösterilişi.....	10
Şekil 3.2	Kalibrasyon işi için kullanılan silindirik batıcı uç ile , parlatılmış kalay üzerinde elde edilmiş beş batma izinin optik görüntüsü.....	10
Şekil 3.3	Cam kürecikler genellikle farklı boyutlu kürecikler sahiptir.....	11
Şekil 3.4	10 m den daha küçük boyuttaki cam kürecikler üzerinde nano mertebede yapılan basma testi sonucu elde edilen yük-uzama eğrisi ve küreciklerin tipik davranışı.....	12
Şekil 3.5	İçi boşluklu cam kürecikler düşey çap arttıkça uygulanacak yük artacak şekilde davranış sergilerler.....	13
Şekil 3.6	Basma esnasında çap arttıkça kırılma enerjisi artmaktadır.....	13
Şekil 4.1	Işığı yansıtan ultra küçük çaplı cam kürecik.....	15
Şekil 4.2	Işığı yansıtan reflektör kompozit malzeme.....	16
Şekil 4.3	Basınçlı kumlama işlemi.....	18
Şekil 5.1	Küçük boyutlu cam küreciklerin üretimi.....	21
Şekil 5.2	Cam kürecik üretim prosesinin tüm aşamaları.....	22
Şekil 5.3	Silikat gazlarındaki renk özelliğini veren bileşim.....	23
Şekil 5.4	Cam kürecik üretiminde kullanılan aparatların şematik bir şekilde gösterilişi.....	24
Şekil 5.5	75-106 µm boyutlarındaki cam kırıklarının küreselleştirilmesiyle elde edilmiş olan küreciklerin optik mikroskoptaki 10x büyütme ile gösterilmesi.....	25
Şekil 5.6	106-150 µm boyutlarındaki cam kırıklarının küreselleştirilmesiyle elde edilmiş olan küreciklerin optik mikroskoptaki 10 x büyütme ile gösterilmesi.....	26
Şekil 5.7	63-75 µm boyutlarındaki cam kırıklarının küreselleştirilmesiyle elde edilmiş olan küreciklerin optik mikroskoptaki 10 x büyütme ile gösterilmesi.....	26
Şekil 5.8	63 µm boyutlarından daha küçük boyutlardaki cam kırıklarında elde edilmiş kürecik ve aglomerlerin optik mikroskoptaki 10x büyütme ile gösterilmesi.....	27
Şekil 5.9	% 5 ' lik HF ile 4 dakika dağlanmış olan gözenekli mikroküreciğin mikrofotoğrafı.....	30
Şekil 5.10	% 1 ' lik HF ile 5 dakika dağlanmış olan gözenekli mikroküreciğin mikrofotoğrafı.....	30
Şekil 5.11	% 0,5 ' lik HF ile 5 dakika dağlanmış olan gözenekli mikroküreciğin mikrofotoğrafı.....	31
Şekil 5.12	Ortalama gözenek çapı ve HF dağlayıcı konsantrasyonu arasındaki ilişki.....	31
Şekil 5.13	Elektrik ark yöntemi ile cam kürecik üretim metodu.....	32
Şekil 5.14	Elektrik ark yöntemiyle elde edilmiş olan akış hızı 20 gr/dak. seçildiği durumdaki kısmen küreselleştirilmiş cam partikülleri.....	33
Şekil 5.15	Elektrik ark yöntemiyle elde edilmiş olan akış hızı 2 gr/dak. seçildiği durumdaki kısmen küreselleştirilmiş cam partikülleri.....	33
Şekil 6.1	Öğütme işleminde kullanılan bilyalı değirmen	35
Şekil 6.2	Küreselleştirme işlemi için tasarlanan içi silindirik boşluklu fırın.....	36
Şekil 6.3	Ark kaynağı transformatörü.....	37
Şekil 6.4	Leica marka optik mikroskoblu görüntü analiz cihazı.....	38
Şekil 6.5	ASTM standartlarındaki paslanmaz çelik elekler.....	39
Şekil 6.6	Cam parçacıklarının ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan elektronik tartı.....	40
Şekil 6.7	Mekanik yolla öğütülmüş 75-150 mikron aralığındaki cam parçacıkları.....	41
Şekil 6.8	Mekanik yolla öğütülmüş 40-210 mikron aralığındaki cam parçacıkları.....	41
Şekil 6.9	Cam partiküllerinin tanecik dağılım eğrisi.....	42

Şekil 6.10	Küreselleşme işlemine tabi tutulan ancak küreselleşememiş 420-840 mikron boyutlarındaki cam partikülleri.....	43
Şekil 6.11	Küreselleşme işlemine tabi tutulan ancak küreselleşememiş 180-300 mikron boyutlarındaki cam partikülleri.....	44
Şekil 6.12	Küreselleşme işlemine tabi tutulan ve kısmen küreselleşmiş 75-150 mikron boyutlarındaki cam partikülleri.....	44
Şekil 6.13	Sıcak havanın kaldırma kuvveti ile fırın kesiti arasındaki ilişki.....	45
Şekil 6.14	Küreselleşme işlemine tabi tutulan ve kısmen küreselleşmiş 40-90 mikron boyutlarındaki cam partikülleri.....	46
Şekil 6.15	Küreselleşme işlemine tabi tutulan ancak az miktarda küreselleşmiş 75-150 mikron boyutlarındaki cam partikülleri.....	47
Şekil 6.16	75-100 mikron aralığındaki küreselleştirilmiş cam parçacıkları.....	48
Şekil 6.17	75-100 mikron aralığındaki küreselleştirilmiş cam parçacıkları.....	49
Şekil 7.1	Küreselleştirme işlemi sonrası küresel şekil kazanamamış tanecikler.....	51

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Cam türleri çizelgesi.....	3
Çizelge 2.2 İkincil bileşenler ve sağladıkları etkileri.....	7
Çizelge 3.1 Cam küreciklerin fiziksel özellikleri.....	8
Çizelge 3.2 Cam küreciklerin kimyasal bileşimi.....	9
Çizelge 5.1 Gözenek üretim şartları ve sonuçları.....	29
Çizelge 6.1 75-150 mikron boyutlarındaki cam partiküllerinin birikme hızları.....	47
Çizelge 7.1 1 mm'den küçük boyutlu küresel camların ithalat miktarları (kg) olarak verilmektedir.....	53



ÖNSÖZ

Gündelik yaşantımızda , birçok gereksinimlerin karşılanmasında camdan yapılmış malzemelerin yeri ve önemi büyüktür . Cam ve camdan türetilen malzemeler mimari ve yapısal birçok temel gereksinimin karşılanmasında olduğu kadar , çağdaş yaşamın ortaya çıkardığı birçok sorunun çözümünde de başlıca malzemelerden birini oluşturmaktadır . Mikroskoptan teleskoba, bardaktan, yapılara kadar her alanda cama gereksinme duyulmaktadır . Cam o kadar geniş bir alanı kapsamakta ve günlük yaşantı içinde öylesine geniş bir yer almaktadır ki , çevremizdeki doğal varlıklar kadar yadırganmamaktadır . Camın böylesine yaygınlaşmasında bilimsel gelişmelerin getirdiği yenilikler ve buluşların yanısıra hiç şüphesiz çağdaş üretim teknolojilerinin de büyük payı vardır .

Bu çalışma , ülkemizde üretimi yapılmamakta olan ancak yoğun miktarlarda kullanılan , mikron mertebesindeki boşluklu , boşluksuz ve gözenekli cam küreciklerin üretilmesi için gerekli şartları belirlemek amacıyla hazırlanmıştır . Yapılan bu çalışmada deneysel olarak az miktarda cam partikülleri küreselleştirilebilmiş ve bunun yanında cam mikroküreciklerin kullanım alanları da ortaya konmuştur .



ÖZET

Üretilen bir çok ürünün yüzeylerinin şekil geometrisi önemlidir . Görünüş, parlaklık, renk v.b. fiziksel özelliklerin yanında , kimyasal etkilere ve ortam koşullarına dayanım da gereklilik koşullarındandır . Bir çok metallerin son işlem kademelerinden birisi olan yüzeyin temizlenmesi ve boyanacak ya da kaplanacak yüzeylerin ön işlemlerinde küresel şekilli cam parçacıklar kullanılmaktadır .

Küresel cam parçacıklar doğrudan boya katkı malzemesi olarak kullanıldığı gibi , yüzeyi aşındırmak amacı ile de kullanılmaktadır . Yüksek sertlik aşındırma için , küresellik ışık yansıtma için önemli özelliklerdir . Üretiminin kolaylığı ve önemli bir tesis gerektirmemesi yaygın kullanım olanakları sunmaktadır .

Bilinen üretim yöntemleri ile üretilmiş küresel cam parçacıkları mikroskop altında incelenmiştir . Geri dönüştürülmüş camlar , öngörülen hazırlama işleminin ardından küreselleştirilme işlemine tabi tutulmuşlardır . Şekillendirilmeyen parçacıklarla küresel şekle getirilen parçacıklar incelenerek görüntülenmiştir . Yüzey görünüş özelliklerine etki eden değişkenlerin endüstrideki kullanım alanları ortaya konulmuştur .

ABSTRACT

Nearly for all the products geometrical form of the surfaces are an important issue. Appearance, brightness, color e.t.c. beside physical properties, resistance to chemical effects and environmental conditions is an needed asset. For surface cleaning that's a final process step of many metals and at pre-process of painting or coating of a surface, spherical glass beads are used.

They're directly used as additives of paints but also used for surface abrasion. High hardness for abrasiveness and brightness for reflection of the light, these are the important properties. Ease of production and not feeling the necessity of a complex plant give them a chance of broader usage possibilities.

Glass beads that are produced by traditional production techniques are examined under microscope. Unformed particles and also spherical shaped particles are examined and viewed. Industrial application areas are given for variables that have effect on surface appearance.



1.GİRİŞ

Cam tarihin çok eski çağlarından günümüze kadar sürekli kullanılmış ve bir çok medeniyet tarafından da şekillendirilmiş ve işlenmiştir. Doğal ortam koşullarında da oluştuğuna ait bulgular mevcuttur. Endüstri devriminden sonra ise, dünyada insanların büyük bir ilgi gösterdiği ve kullanımından vazgeçemediği için ve alternatif olarak üretilen malzemelerin camdan beklenen özellikleri temin edememeleri nedeniyle cama duyulan gereksinim büyük bir hızla artmıştır.

Bir endüstri malzemesi olarak camdan beklenen, ışık geçirme , ses yalıtımı , iç ve dış duvar kaplamaları, çatı örtüsü oluşturmak gibi temel bazı işlevlerin sağlanması günümüzde yeterli olmayıp bunlara ek olarak; ışık geçirme ve ısı yalıtımı, ışık geçirme ve görüntü gösterme gibi bunların tek tek ya da değişik kombinasyonlarını sunabilen önemli bir mühendislik malzemesidir. Güvenilir beslenmemiz için mükemmel bir gıda ambalajı olarak, doğal ortam koşullarından ayırmak için sınır malzemesine, ısıtma ve aydınlatmadan, görüntü ve sanatsal eşyalara kadar sayılamayacak kadar kullanım alanı bulan camın üzerinde çalışılacak bir çok araştırma konusu vardır ve dünyada en çok üzerinde araştırma yapılan malzemeler arasında yer almaktadır.

Basit bir tanım olarak camı, sabit bir erime noktası olmayan amorf bünyeli bir silikat bileşimi olarak tanımlamamız mümkündür. Ana maddelerinin ısıtılarak eritilmesi, biçimlendirilmesi ve biçimlendirilen hamurun kristalleşme olmaksızın soğuması sonucunda cam elde edilmektedir. Erime derecesi, bileşime ve bileşime giren maddelere göre değiştiği için belirli sıcaklıkta eriyen metal ve benzeri malzemeler gibi camın sabit bir erime sıcaklık derecesi mevcut olmayıp bir erime aralığı vardır. Aşırı soğutulmuş bir sıvıya benzeyen gerçekten de ısıtılmaya başlandıktan sonra sıcaklığın artmasına paralel olarak önce yumuşayan ve daha sonra da akıcı hale gelen, adeta bir sıvı gibi davranan malzeme camdır (Toydemir; 1990).

Küresel şekil verilmiş cam parçacıklar camın üretiminden farklı yöntemlerle yapılmakta ve farklı yerlerde ve farklı amaçlarla kullanılmaktadır. Küresel camların özellikleri ve bileşenleri gelecekteki olası gelişmeler ve bunların kullanımları için projeksiyonlar da ön görülmüştür (Budov, V.V. ;1993).

Bu çalışmada, cam haline getirilmiş malzemeyi fiziksel olarak kırarak, küçük parçacıklara ayırdıktan sonra, bklklrine göre sınıflandırıp, ısı etkisi ile küresel şekil alması sağlanacak ve yüzey işlem malzemesi olarak kullanım olanaklarını araştırılacaktır. Üretilen cam parçacıkların kullanım yerlerine ve amaçlarına uygunluğu, şekli ve geometrisi ortaya konularak üretim yöntemlerin arasındaki farklılıklar ortaya konulacaktır.



2.CAM KÜRECİK HAMMADDELERİ

Genel olarak cam, SiO_2 esaslı bir malzeme olup, istenilen ve belirlenen özellikleri sağlamak ve üretimini mevcut teknolojik araç ve gereçleri kullanarak gerçekleştirmek için bir çok katkı maddesi ilave edilir. Cam kürecik bileşimindeki bu ilaveler üç ana grupta belirlenebilen oksitler, eriticiler ve stabilizatörler olarak ifade edilebilir. Camın bileşimine giren bu maddeler bir başka şekilde Kum-Soda-Kireç üçlüsü olarak da ifade edilebilir. Cam bileşimine giren bu ana maddelerin dışında cama bir çok önemli özellik kazandırmak amacıyla ve üretimde bazı yararlı sonuçlar almak için ayrıca " Yardımcı Bileşenler " (İkincil Bileşenler) de ilave edilmektedir. Bu tür ilaveler cama ismini de verebilir. Örneğin silikat camları, sodakalsik camı, kurşun camı v.b. gibi isimlendirilen camlar kısaca çizelge 2.1' de belirtilmiştir.

Çizelge 2.1 Cam türleri çizelgesi.

NO	CAM TÜRÜ	%								
		SiO_2	B_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO	BaO	PbO	Na_2O	K_2O
1	Sodakalsik Camı	73.3	-	-	5.2	3.6	-	-	16	0.6
2	Kurşun Camı (Normal Tenör)	56.6	-	1.4	-	-	-	30	4	8
3	Kurşun Camı (Yüksek Tenör)	6.0	13	-	-	-	-	81	-	-
4	Borosilikat Camı (Pyrex)	80.5	12.9	2.2	-	-	-	-	3.8	0.4
5	Borosilikat Camı (Tungsten)	67.3	24.6	1.7	-	0.2	-	-	4.6	1
6	Borosilikat Camı (Kovar)	68.9	21.4	2.3	-	-	-	0.2	2.8	4.4
7	Aluminosilikat Camı	57	4	20.5	5.5	12	-	-	1	-
8	Silis Camı (%96)	96.3	2.9	0.4	-	-	-	-	0.2	0.2
9	Silis Camı (%99)	99.3	-	-	-	-	-	-	-	-

Çizelge 2.1'den görüleceği gibi, bütün camlarda SiO_2 mevcut olması nedeniyle bu camlara silikat camları adı verilmektedir.

Tüm dünyada üretilen camların % 90'ı sodakalsik camıdır denilebilir . Ucuz olması, kolayca eritilebilmesi gibi önemli niteliklerine karşın, ısı 1 şoklara mukavemet ve kimyasal stabilite gerektirmeyen haller dışında hemen her yerde kullanılabilen bir cam türüdür. Bileşim türleri pek fazla olan bu cam türü, normal elektrik ampulü, floresan ampuller, pencere camları vb. malzemelerin üretiminde kullanılır. Ayrıca bu cam viskozite karakteristikleri nedeniyle hava-gaz karışımı şalümo alevinde kolaylıkla çalışma olanağı verir.

Sodakalsik camındaki kireç yerine PbO geçtiğinde geniş bir uygulama alanı olan kurşun camı elde edilmiş olur. Sodakalsik camında % 15 oranı ile sınırlı olan CaO yerine geçen kurşun oksit % 80 oranının bile bazı hallerde üstüne çıkabilir. Kurşun oksit, camın erime noktasını düşürerek yumuşama noktasını CaO'li camlarınkinin de altına düşürür. Ayrıca cama kolay işlenebilme, ışığı yansıtma ve yayma özeliğı kazandırır. Bütün bu nedenlerle üçyüz yıldan fazla bir zamandan beri kurşun camları sanatsal cam üretiminde kullanılmaktadır. Çizelgedeki 2 numaralı bileşim daha çok boşluk tekniğinde kullanılır. 3 numaralı bileşim ise düşük erime sıcaklığından ötürü cam kaynağı işlerinde kullanılır. Kurşun oksit miktarının % 80'i aştığı kurşun camı, özellikle γ ve X ışınlarından korunmak için kullanılmaktadır. Kurşun camlarının pahalı oluşları nedeniyle günümüzde bu camların yerine mümkün olduğu ölçüde baryum oksitli camların kullanılma eğilimi artmıştır.

Borosilikat camlarının nisbeten yüksek bir yumuşama noktası vardır. Buna karşın, ısı 1 şoklara karşı büyük bir mukavemet sağlayan büyük bir genleşme katsayısı, su ve asitlere karşı çok iyi mukavemet göstermesi ve üstün elektriksel özellikleri ile dikkat çekicidir. Bütün bu özellikler, borosilikat camlarının laboratuvar cam eşyası (ülkemizde teknik cam olarak adlandırılmaktadır), mutfak eşyası (pyrex), büyük boyutlu astronomik aynaların yapımında kullanılmasını sağlamıştır. Üstün elektriksel özellikleri sayesinde ateşe dayanıklı alaşımlarla (tungsten-molibden, demir-nikel-kobalt) birlikte kullanılabilir. Çizelgedeki 5 ve 6 numaralı bileşimler de yine bu tür metal alaşımları ile birlikte kullanılabilir.

Çizelge'de 7 nolu bileşimde görüldüğü gibi aluminosilikat camları % 20 den biraz fazla alümina, az miktarda bor, bir miktar kireç ve manyezit ile çok az alkali içerirler. Bazı hallerde alkali formüle girmeyebilir. Ancak alkali bulunmaması durumunda bu camların eritilmesi ve işlenmesi borosilikat camlarından daha güç hale gelir.

Yumuşama noktasının yüksek ve dilatasyon katsayısının küçük olması, bu camların termometre, yanma tüpleri ile alevle doğrudan temas edecek her türlü parçanın yapımında özellikle kullanılmasını sağlamaktadır. Boşluk tekniğinde, yumuşama noktasının yüksekliği nedeniyle projeksiyon ampulleri ve saydam fosforlu katot tüplerinde, ayrıca yüksek sıcaklıkta dielektrik kayıplarının küçüklüğü ve yine yumuşama noktasının yüksekliği nedenleriyle kullanılmaktadır. Diğer bir kullanım alanı ise yüksek güçlü verici lambalardır.

Çizelgede 8 numaralı cam olan, %96 oranında SiO_2 içeren silis camları fabrikasyon tekniği yönünden büyük hünere gerektirir. Geleneksel camların bir kısmı ile gerçekleştirilebilen presleme ve üfleme yöntemleri ile şekillendirme bu camlara da uygulanır. Dilatasyon katsayısı daha evvelce açıklanan camlarınkinden daha küçüktür. Ancak % 99.3 lük silis camınınkinden biraz büyüktür. Boşluk tekniğinde bu cama ilgi gösterilmesi bu camın ateşe dayanıklılığına, dilatasyon katsayısının küçük oluşuna ve malzeme seçiminden kaynaklanan üretim olanaklarına bağlı bulunmaktadır. Bu cam çok saydam oluşu nedeni ile U.V. ışınlarını çok iyi geçirir. Bu nedenle U.V. lambaları ile mikrop öldürücü olarak kullanılan özel lambaların (ampullerin) üretiminde kullanılır.

% 99 SiO_2 içeren silis camları ise, çok saf kuvars kumunun herhangi bir eritici madde olmadan eritilmesi ile elde edilir. Bu camın üretimi ve özellikle biçimlendirilmesi çok yüksek sıcaklıkta (yaklaşık 1750°C) çalışmayı gerektirdiği için çok zordur. Bu güçlük nedeniyle üretilecek nesnelerin şekilleri ve boyutları sınırlı olmak zorundadır. Bu camın genleşme katsayısının çok küçük olması, yumuşama noktasının çok yüksek oluşu ve U.V. ışınlarını çok iyi geçirmesi gibi olumlu özellikleri vardır. Dielektrik özelliklerinin çok iyi olmasına karşın fiyatının yüksekliği nedeniyle elektronikteki uygulamaları oldukça sınırlıdır (Toydemir; 1990). Bu cam mevcut camlar içinde ısı şoklarına karşı mukavemeti en yüksek olan camdır.

2.1 Camın Ana Hammaddeleri (SiO_2 , B_2O_3 ve P_2O_5)

Camlaşma özeliği olan bu ana maddeler, genelde ağ (iskelet) oluşturan bazı oksitlerdir. Doğal cam olarak nitelenebilecek olan kuvars kumu ağ oluşturan oksitlerin başında gelmektedir. Ağ oluşturan oksitler içinde en önemlileri SiO_2 , B_2O_3 ve P_2O_5 'dir.

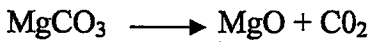
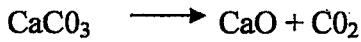
2.2 Camı Eriten Yardımcı Maddeler

Ağ oluşturan ve cam haline gelebilen oksitlerin erimelerini kolaylaştırmak amacı ile cam bileşimine katılan maddelere " Eriticiler " adı verilir. Eriticiler denilen bu gruptaki maddeler camlaşıcıların erime sıcaklık derecesini düşürerek onların erimelerini kolaylaştırır. Özellikle 1713 °C eriyen silisin erime derecesi 1500 °C dolayına indirilebilir. Eriticiler ağ içine girerek onu değiştirdiği için eriticilere " Modifikatör " de denmektedir. Eritici olarak adlandırılan bu maddelerin başlıcaları Na_2O , K_2O ve Li_2O 'dir.

2.3 Stabilizatörler

Eriticiler gibi stabilizatörler de özellikle camın kimyasal dayanımı, kırma indisi, dielektrik özellikleri üzerinde etki yapan maddelerdir. Formülüne stabilizatör ilave edilmemiş bir cam su karşısında stabil değildir. Bu tür camlara " Su camı " adı verilir. Stabilizatör olarak adlandırılan maddelerin başlıcaları CaO , BaO , PbO , MgO ve ZnO dur.

CaO kireç taşının (CaCO_3), MgO ise dolomit'in (MgCO_3) cam formülüne katılması ile sağlanmış olur. Zira CaCO_3 ve MgCO_3 'ün ısıtılması ile bünyelerindeki CO_2 çıkar ve geriye CaO ve MgO kalır.



2.4 İkincil Bileşenler

Yardımcı bileşen yada ikincil bileşen olarak adlandırılan maddeler genelde camın formülüne girmeyen, ancak çoğunlukla değişik camlarda değişik etkiler sağlamak üzere kullanılan oksitlerdir.

İkincil bileşenler ve sağladıkları etkiler çizelge 2.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 İkincil bileşenler ve sağladıkları etkileri.

	Arsenik (As ₂ O ₃)	Fluorin (CaF ₂)	Sülfür (Na ₂ SO ₄)	Fosfor (P ₂ O ₅)	Kobalt (CO ₂ O ₃)	Zirkonyum (ZrO ₂)
Renk verme	X	-	-	-	X	-
Opaklaştırma	-	X	-	X	-	-
Saflaştırma	X	-	-	-	-	-
Redükleme	-	-	X	-	-	-
Renk giderme	-	-	-	-	X	-
Viskozite arttırma	-	-	-	-	-	X

3.CAM KÜRECİKLERİN FİZİKSEL, KİMYASAL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Cam malzemenin yapı malzemesi ve diğer alanlarda kullanılan türlerinin, tam anlamı ile bilinmesi yönünden fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin tanınması gereklidir. Bu bölümde, cam malzemenin söz konusu özellikleri ele alınacaktır.

3.1 Fiziksel Özellikler

Bu bölümde sodakalsik camlarından üretilmiş olan cam küreciklerin yoğunluğu, sertliği, ısınma ısısı, ısı geçirgenlik katsayısı, kırma indisi ve yumuşama sıcaklığı, ısı genleşme katsayısı ile ilgili sayısal değerler verilecektir. Çizelge 3.1 'de cam küreciklerin fiziksel özellikleri gösterilmektedir.

Çizelge 3.1 Cam küreciklerin fiziksel özellikleri (Kazıhan K.,1997) .

Yoğunluk	Sertlik	Isınma Isısı	Isı Geçirgenlik Katsayısı	Kırılma İndisi	Yumuşama Sıcaklığı	Isıl Genleşme Katsayısı
47 HRC	2,5 gr/cm ³	795 J/Kg/°C	1 Kcal/m/h/°C	1.52	700-800 °C	8,6 m/ °Cx 10 ⁶

3.2 Kimyasal Özellikler

Cam malzemeyi kimyasal olarak etkileyen sadece hidroflorik asittir. Hidroflorik asit özellikle cam yüzeylerin işlenmesinde yüzeyin matlaştırılması için kullanılır.

İçine kireç (CaCO₃) katılmamış camlar su karşısında stabil değildirler. Bu tür camlara su camı da dendiği önceden belirtilmişti.

Normal pencere camları ve su ile teması olabilecek her türlü camın su karşısında stabil olabilmesi için bunların bileşimine kireç katılması zorunludur.

Cam küreciklerin kimyasal bileşimi aşağıdaki çizelge 3.2 de gösterilmektedir.

Çizelge 3.2 Cam küreciklerin kimyasal bileşimi (Kazıhan K.,1997).

SiO_2	% 72
Al_2O_3	% 0,6
Fe_2O_3	% 0,6
CaO	% 10
MgO	% 2,5
Na_2O, K_2O	% 14,2

3.3 Mekanik Özellikler

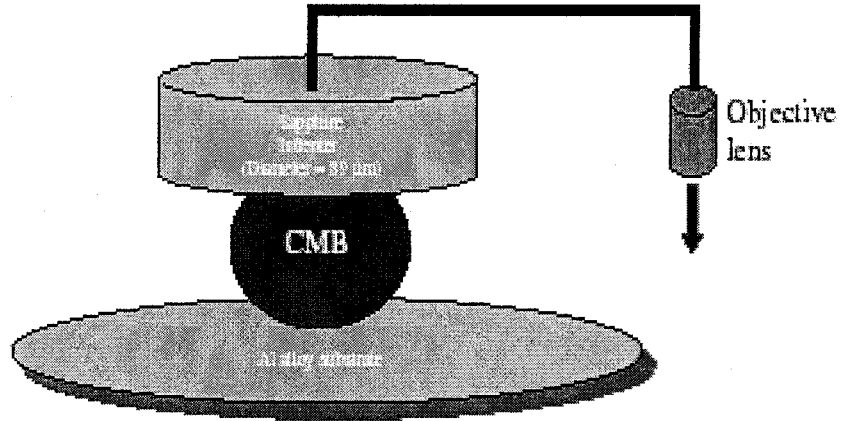
Bu bölümde cam küreciklere ilişkin olarak basma dayanımı değerleri ve ölçüm yöntemiyle birlikte cam kürecik üretiminde kullanılan sodakalsik camlarının, çekme mukavemeti, elastiklik modülü ve poisson oranı gibi özelliklerinin sayısal değerleri verilecektir. Ancak bilinmektedir ki, bütün (kırılgan) malzemeler gibi cam malzemenin de basınç ve çekme mukavemetleri arasında büyük farklar vardır. Bu fark cam malzemede yaklaşık 20 kat artar.

3.3.1 Basma Dayanımı

Cam küreciklerin dayanım testleri öncesi genellikle uygun bir çözelti ile (örn. metaklirat kromik klorür gibi) yüzey işleme tabi tutulurlar. Basma deneyi cam küreciklerin dayanım özelliklerinin belirlenmesinde önemli rol oynar. Bu test yapılırken dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan biri, içi boş cam küreciklerin duvar kalınlıklarıdır. Deney sonrası genellikle SEM mikroskopuyla, mikroküreciklerin morfolojik özellikleri ve hasara uğramış bölgeler incelenmektedir.

Şekil 3.1 de deneysel sistem şematik olarak gösterilmektedir. Bu testin yapılabilmesi için tüm uçlar ve yüzeyler uygun bir kimyasalla (aseton veya etanol gibi) temizlenir. Daha sonra alüminyum alaşımından yapılmış parlatılmış bir plaka üzerine yerleştirilirler ve nano mertebedeki bir batıcı uç ile temas edecek konuma getirilirler. Yük kalibrasyonu standart üç yüzeyli piramit Berkoviç ucuna göre yapılır.

Uç daha sonra $89\ \mu\text{m}$ 'lik silindirik safır uç ile değiştirilir ve uç yatay eksendeki pozisyonu için vede yük eksenine dik düzlemdeki pozisyonu için kalibre edilir.

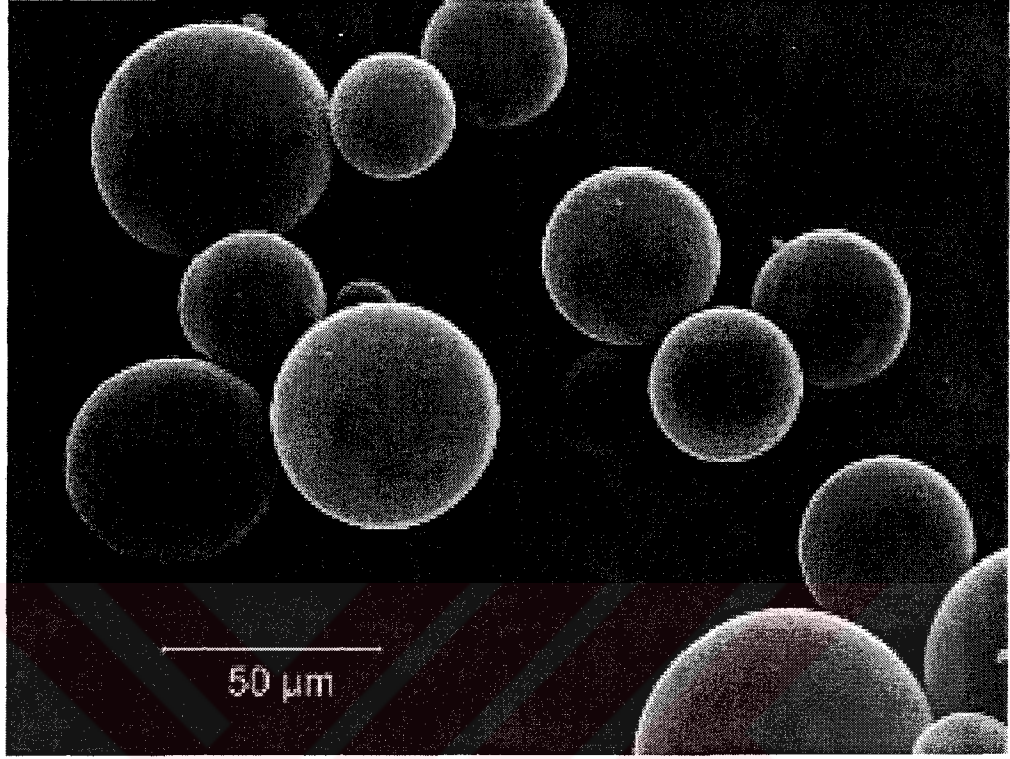


Şekil 3.1 Nano mertebede yapılan basma deneyinin şematik olarak gösterilişi (M. Koopman , G. Gouadec , K. Carlisle , K.K. Chawla , G. Gladysz ;2003) .



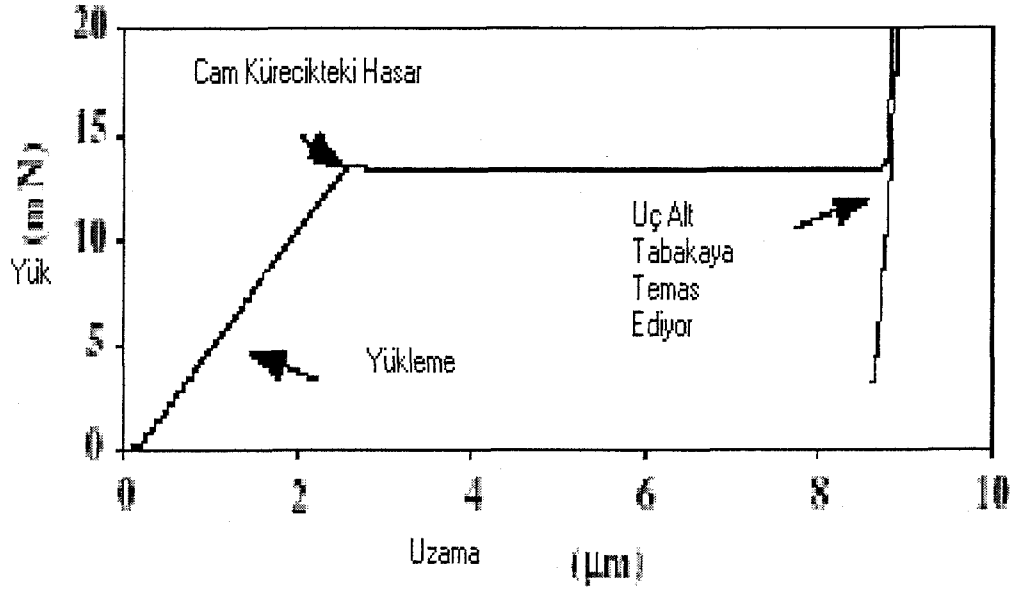
Şekil 3.2 Kalibrasyon işi için kullanılan silindirik batıcı uç ile , parlatılmış kalay üzerinde elde edilmiş beş batma izinin optik görüntüsü . Ortada bulunan batma izi mekanik eksenin konumlandırılması için kullanılmaktadır (M. Koopman , G. Gouadec , K. Carlisle , K.K. Chawla , G. Gladysz ;2003) .

Şekil 3.3 te görüldüğü gibi cam kürecikler genellikle farklı boyutlarda kürecik forma sahip yapılardır. Şekil olarak düzenlidirler.



Şekil 3.3 Cam kürecikler genellikle farklı boyutlu küreciklere sahiptir (SEM) (M. Koopman , G. Gouadec , K. Carlisle , K.K. Chawla , G. Gladysz ;2003) .

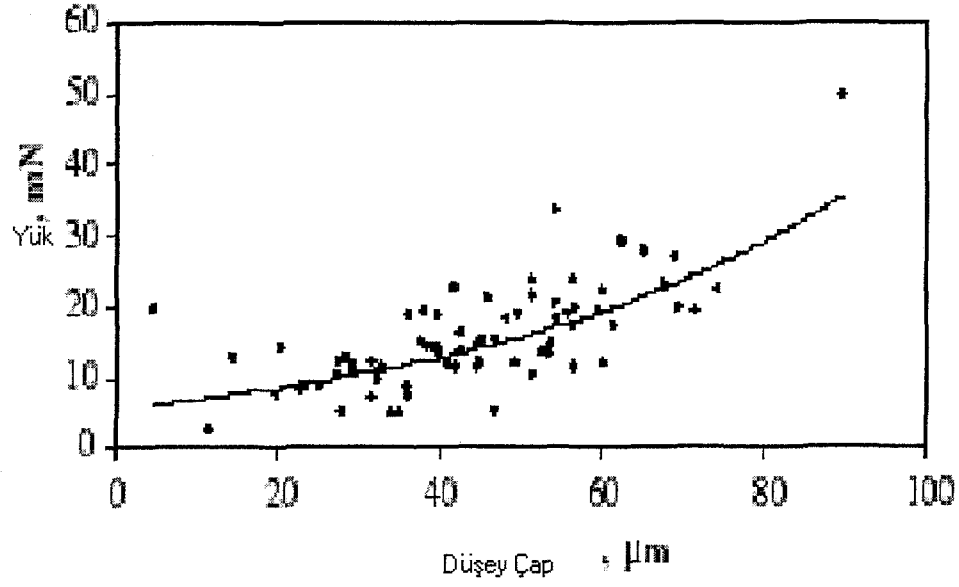
Şekil 3.4 te cam kürecikleri için yük-uzama eğrisi verilmektedir. Eğride başlangıçtaki yük-ve uzama arasında lineer bir ilişki vardır. Yük kritik bir değere ulaştığında kürecik kırılır ve bu değer basma dayanımına karşılık gelmektedir. Bu durum alüminyum plakayla temas edene kadar, yük-uzama eğrisinin yatay eksene paralel hale gelmesi şeklinde devam eder. Bu durum grafikte düşey çizgiyle belirtilmiştir.



Şekil 3.4: 10 m den daha küçük boyuttaki cam kürecikler üzerinde nano mertebede yapılan basma testi sonucu elde edilen yük-uzama eğrisi ve küreciklerin tipik davranışı (M. Koopman , G. Gouadec , K. Carlisle , K.K. Chawla , G. Gladysz ;2003) .

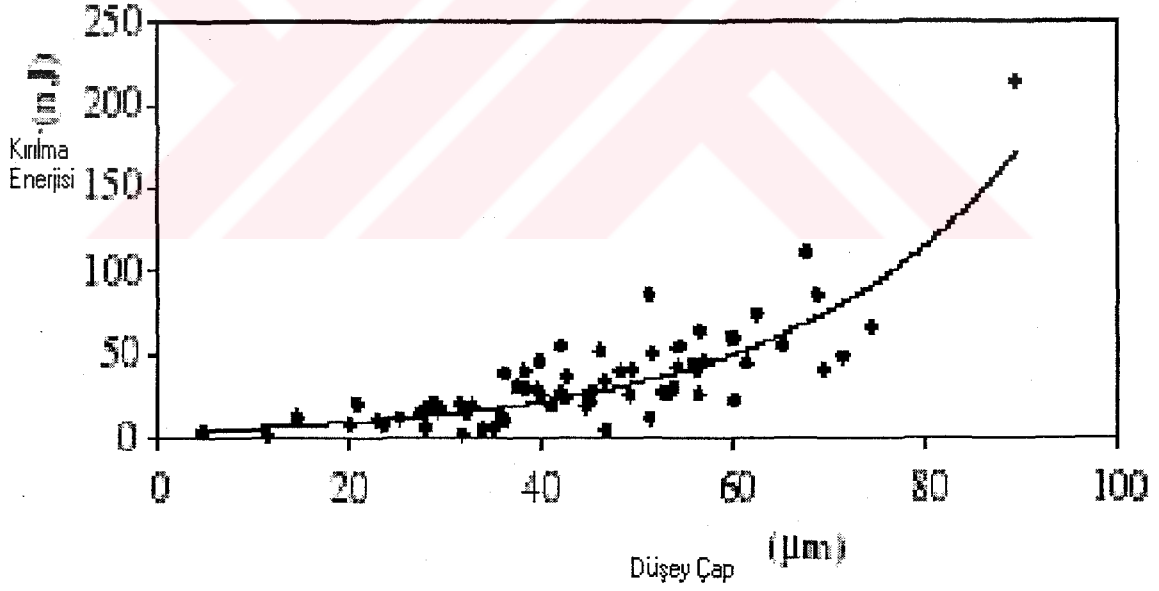
Basma dayanımına ek olarak eğriden başka parametreler de elde etmek mümkündür. Bu şekilde mikroboşlukların mekanik özellikleri ve karakterizasyonu açısından fikir sahibi olunabilir. Cam küreciklerin düşey çapları, X eksenindeki uzama olarak alınabilir. Hasar esnasında oluşan uzamanın başlangıçtaki orijinal düşey çapına oranlanmasıyla elde edilir. Buna ek olarak eğrinin lineer kısmının eğimi hesaplanarak, pseudo-katılık, k değeri elde edilir. k değeri malzemenin young modülüne, duvar kalınlığına ve boşluğun çapına bağlıdır. Eğer kırılma enerjisi elde edilmek isteniyorsa, yük-uzama eğrisinin kırılma noktasına kadar olan bölgenin altında kalan alan hesaplanarak elde edilebilir veya yaklaşık olarak maksimum basma yükü ve hasar oluşturacak uzama çarpılarak elde edilebilir.

İçi boşluklu cam kürecikler, çap ve maksimum basma yükü ile direk bir ilişki içerisindedir. Şekil 3.5'te bu durum belirtilmiştir.



Şekil 3.5 İçi boşluklu cam kürecikler düşey çap arttıkça uygulanacak yük artacak şekilde davranış sergilerler. (M. Koopman , G. Gouadec , K. Carlisle , K.K. Chawla ;2003) .

Şekil 3.6 da ise çap ile kırılma arasındaki ilişki verilmiştir.



Şekil 3.6 Basma esnasında çap arttıkça kırılma enerjisi artmaktadır (M. Koopman , G. Gouadec , K. Carlisle , K.K. Chawla , G. Gladysz ;2003) .

Cam kürecik ve hasar oluşturan yük ile kırılma enerjisi geometrik faktörlerden etkilenirler. Bununla birlikte malzeme üretim özellikleri de etkilidir. Basma testine tabi tutulacak kürecikler, düzenli küresel ve pürüzsüz yüzeylere sahiptir ancak duvar kalınlığının düzenli oluşu ve iç kısımdaki çatlakçıklar hakkında detaylı bilgiye ulaşılamamaktadır. Cam kürecikler parçacıklar halinde hasara uğrarlar ve tekrar başlangıçtaki formlarına dönüştürülemezler. Bu nedenle hasar noktasındaki duvar kalınlıkları belirlenemez.

Üretim prosesine göre büyük küreciklerin, küçük küreciklere nazaran daha ince duvar kalınlıklarına sahip olmaları doğaldır. İşlem esnasında ince cam partikülleri yeterli yüksek sıcaklığa sahip bir ortama alınarak yüzeyde oluşan çekmeden ötürü küresel form almaya zorlanırlar. Gaz haldeki bir kimyasal kullanılarak küreciklerin boşluklu bir yapıya dönüştürülmesi sağlanır. Daha büyük çaptaki küreciklere dönüştürülenlerin duvar kalınlıkları daha düşüktür. SEM de yapılan incelemeler göstermektedir ki mikron altı boyutlardan birkaç mikron aralığında olabilmektedir (M. Koopman , G. Gouadec , K. Carlisle , K.K. Chawla , G. Gladysz ;2003).

3.3.2 Çekme Dayanımı

Cam kürecik üretiminde kullanılan sodakalsik camlarının çekme mukavemetleri 3033 Mpa dolaylarındadır (Kazıhan K.,1997) .

3.3.3 Elastiklik Modülü

Cam kürecik üretiminde kullanılan sodakalsik camlarının elastiklik modülü 7.2×10^{10} pa , ya da 730 000 kgf/cm² dir (Toydemir; 1990) .

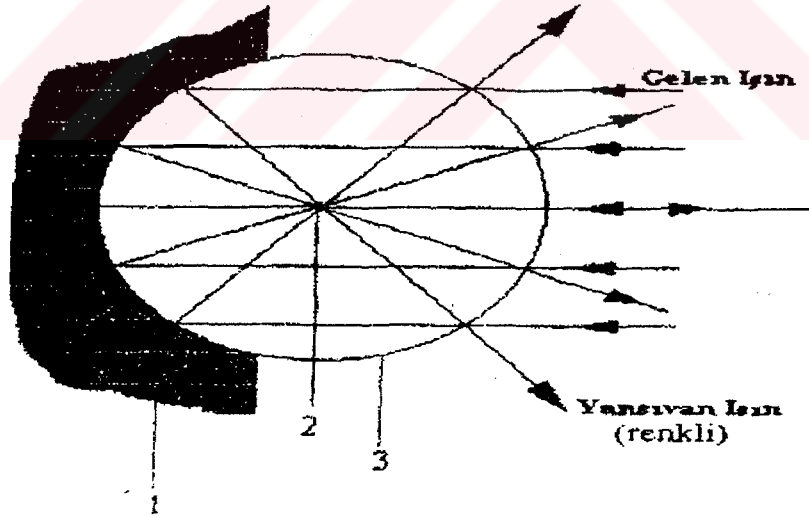
3.3.4 Poisson Oranı

Cam kürecik üretiminde kullanılan sodakalsik camlarının poisson oranı 0.22 dir ve γ ile gösterilir (Toydemir; 1990) .

4. KÜRESEL CAMLARIN KULLANIM YERLERİ

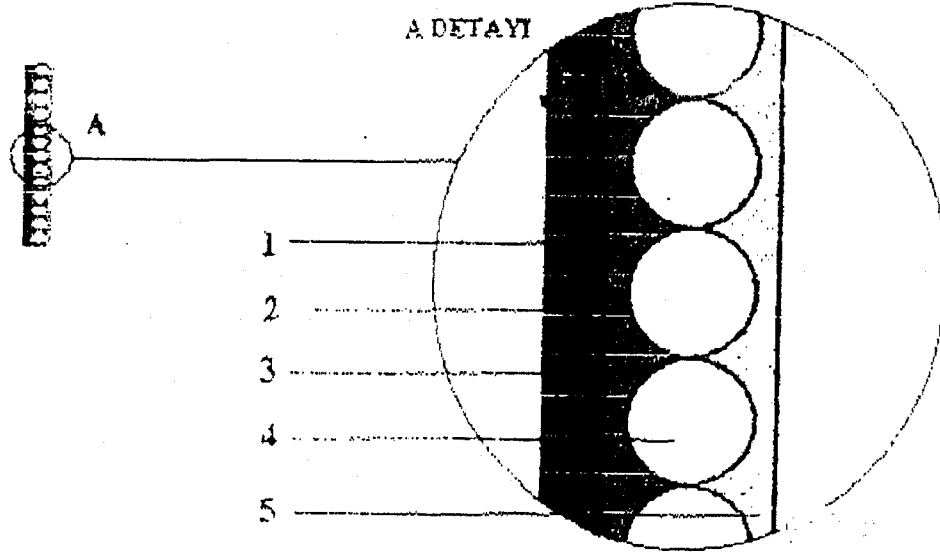
Cam her türlü ışığı kırma, renklere ayırma ve yansıtma özelliğine sahip bir malzemedir. Çok çeşitli kullanım özelliği olan camın, reflektör malzemesi olarak günümüzde kara, hava, deniz ve demiryolu taşımacılığında önemli bir yeri vardır. Emniyetli ulaşımın sağlanmasında, cam çok çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Bunlardan birisi de karayolu trafik işaretlerindeki ışığı yansıtıcı malzeme olarak kullanılmasıdır. Diğer bütün ulaşım sistemlerinde, ışığın yansıtılarak parlaklığın arzu edildiği her yerde, buralarda görev yapan tüm personele ait kıyafetlerde, her türlü reklam panolarında, kara, hava ve deniz taşıtlarında ışığı yansıtıcı olarak yine bu malzeme kullanılmaktadır. Kompozit malzemenin içine karıştırılan cam, ışığı yansıtan en küçük eleman olarak far görevini görür (Kazıhan K.,1997) . Ortalama boyutu 1 mm den küçük olan cam kürecikler otoyol boyalarında ışığı yansıtıcı eleman olarak kullanılmaktadır.

Aşağıdaki şekilde çizgi boyalarına yerleştirilmiş olan bir küreciğin, ışığı yansıtma özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Işığı yansıtan ultra küçük çaplı cam kürecik ; 1-Yapışkan renkli yüzey, 2-Küreciğin merkezi , 3-Küreciğin yüzeyi (Kazıhan K.,1997) .

Şekil 4.2’de ise detaylı bir şekilde gösterilen her türlü ortamda ışığı yansıtan ve her renkte olabilen kompozit malzeme, beş ayrı tabakanın bir araya getirilmesiyle oluşur.



Şekil 4.2 Işığı yansıtan (reflektör) kompozit malzeme ; 1-Yapışkan yüzey , 2-Esas yüzey , 3-Boya tabakası , 4-Cam bilya tabakası ,5-Kaplama yüzey (Kazıhan K.,1997) .

Yüksek yansıtma için camın bileşim, fiziksel ve optik özelliklerinin kontrolü gerekir. Endüstriyel kullanım için çok yüksek aralıkta cam kullanılması gerekmez. Küresel camların eldesinde kullanılan camın hammaddesi alkali camıdır.

Termoplastik veya termosetlerde genellikle 4-44 mikron çapındaki kürecikler kullanılmaktadır ve cam fiberlere göre daha ucuz olmaları nedeniyle tercih edilirler. Plastik esaslı kompozitlerde pekiştirici malzeme olarak örneğin polipropilen veya polimetalmetaklirat (PMMA) malzemelerde katkı maddesi olarak kullanılan içi boşluklu cam küreciklerin, reçineye ilave edildiklerinde reçine viskozitesindeki artış cam fiber ilave edilmesindeki artıştan daha düşüktür. Bu nedenle cam kürecikler ile pekiştirilmiş ince kesitli parçaların kalıplanması, fiberle pekiştirilmiş parçaların kalıplanmasından daha kolaydır. Küreciklerin mekaniksel özellikleri üzerindeki etkisi fibere oranla genellikle daha düşüktür. Ancak basma kuvvetleri ve aşınma dirençleri açısından önemli bir artış sağlanabilir. Bunun yanında kompozit malzemeye izotropik özellik kazandırır (Clamors, D.E. ;1993, Bonnenfant, D. , Suquet, P. ; 1995) .

Ayrıca cam kürecikler, mekanik şokları emmek amacıyla, manyetik akışkan kompozitler şeklinde kullanılmaktadır. Aynı zamanda deprem dalgalarının algılanması için kullanılan sensörlerde de mevcuttur (Bica I;2000) .

İçi boşluklu olan borosilikat cam kürecikleri ise, gemi ve otomobil yapımında kullanılan kompozit plastiklerde hafiflik sağlayıcı dolgu malzemesi olarak, endüstriyel patlayıcılarda hassaslaştırıcı katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Mineral ve organik dolgu malzemelerine kıyasla, boşluklu cam kürecikler düşük yoğunluk ve yüksek dayanıma sahip olmalarından dolayı tercih edilirler.

İçi boşluklu cam küreciklerin diğer bir özelliği ise hidrojen depolayıcı madde olarak kullanılabilmesidir. Buna ek olarak biyoteknoloji alanında da çok kullanışlı oldukları kanıtlanmıştır. Bu alandaki en genel kullanımı ise, tıbbi malzemelerin küreciğin boşluklu bölgesine yüklenmesi ve daha sonra istenilen bölgeye enjekte edilmesi şeklindedir (Carlson ; 1998) .

Yüzey işlem sarf malzemeleri olarak aşındırıcılar, doğal yada özel olarak üretilmiş olabilirler ve aşındırma, temizleme, pürüzlendirme, bileme, parlatma gibi işlemler için döner tablalarda veya basınçlı hava ile yüzeye püskürtülerek kullanılırlar. Bu malzemelerin en önemli fiziksel özelliklerinin başında sertlikleri, dayanımları (tekrar tekrar kullanılabilme ve ekonomik olma açısından), tanecik formları ve boyutları gelmektedir. Bu özelliklerin dışında ısıl dirençleri, fiyatları ve kolay bulunabilmeleri de aşındırıcı seçiminde ayırt edici özelliklerdendir (Olson D.W.,2000) .

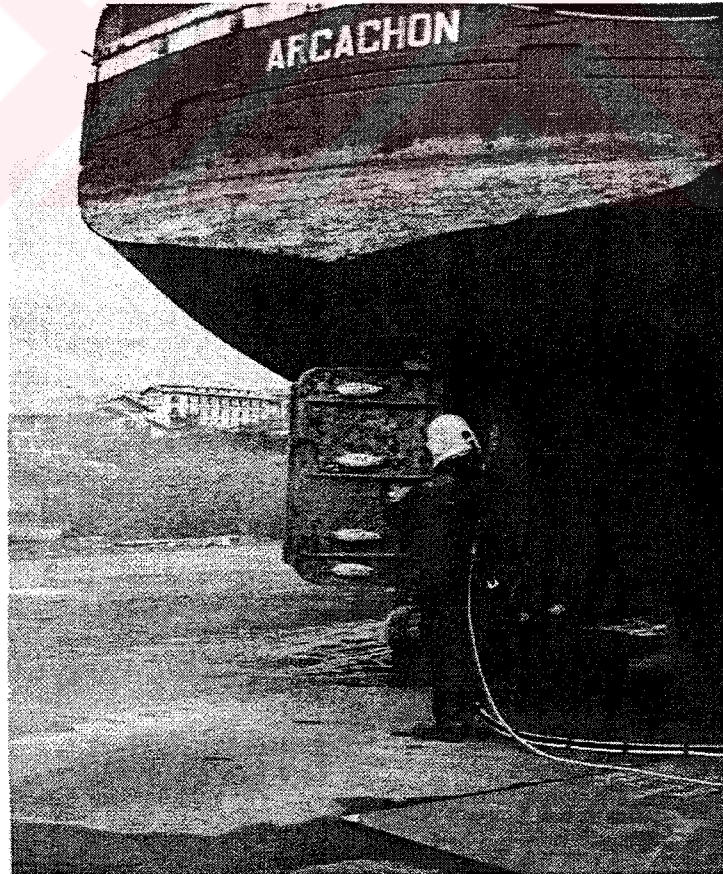
Bu aşındırıcılar daha çok şekil itibayle köşeli ve küresel olarak ikiye ayrılırlar. Köşeli malzemelerin kullanılması ile elde edilen yüzey girinti ve çıkıntılardan oluşur ve bu yüzey daha sonradan uygulanacak olan kaplama işlemi için oldukça büyük önem taşır.

Genellikle kaplama yapılmadan önce bu tip malzemeler kullanılarak yüzey pürüzlendirilir ve ardından yapılacak kaplamanın malzeme yüzeyine daha iyi tutunması sağlanır.

Küresel formdaki yüzey işlem sarf malzemesi olan cam, yüzeylerde pürüz yapmaz ve daha çok yüzey sonlandırma amacıyla kullanılır. Cam parçalar yüzeylerde dalgalı bir yapı oluştururlar. Yüzeyin dalgalı olması üretilmiş olan parçaların ışığı daha iyi yansıtmalarını ve görüntü itibariyle daha parlak yüzey elde edilmesini sağlamaktadırlar.

Metalurjide döküm yüzeylerinin temizlenmesi, gemi inşa endüstrisinde boya yapılacak yüzeylerin temizlenmesinde, köprü gibi büyük yapıların korunması için yüzey hazırlamada, yüzey işlemi gerektiren endüstrilerde, yüzey temizleme ve sonlandırma malzemesi olarak da yine bu malzeme yoğun miktarda kullanılır. Küresel formdaki cam kürecikler düşük yoğunlukları ve cam olması nedeniyle özellikle alüminyum ve paslanmaz çelik parçaların yüzey sonlandırma işlemlerinde tercih edilmektedirler. Basınçlı hava ile birlikte metal yüzeye püskürtülerek buradaki istenmeyen oksit tabakalarını veya yüzeye yapışmış olan tüm kirlilikleri ortadan kaldırırlar (Staveley J.;2002) .

Aşağıdaki şekilde tipik bir basınçlı kumlama işlemi görülmektedir .



Şekil 4.3 Basınçlı kumlama işlemi .

Camın ısı direnci düşüktür, yanmaz, ancak yüksek sıcaklıkta yumuşar. Bu özellik katkı malzemesi olarak kullanımına olanak sağlar ve iyileştirilebilir özellikleri ortaya çıkarır. Kimyasal malzemelere ve korozyif ortamlara dirençlidir. Elektrik iletmediği için, elektrik yalıtımının önem kazandığı durumlarda, cam takviyeli kompozitlerin kullanılmasına imkan sağlar.



5. CAM KÜRECİK ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Küçük boyutlu cam parçacıkların birincil cam üretim yöntemiyle değil de alkali camların mekanik olarak çeneli ve konik kırıcılarda kırıldıktan sonra, çok farklı yöntemlerle üretilmesi mümkündür. Üretilecek parçacığın boyutuna göre uygun yöntemin seçilmesi gerekmektedir.

5.1 Alev Mızrağı Yöntemi

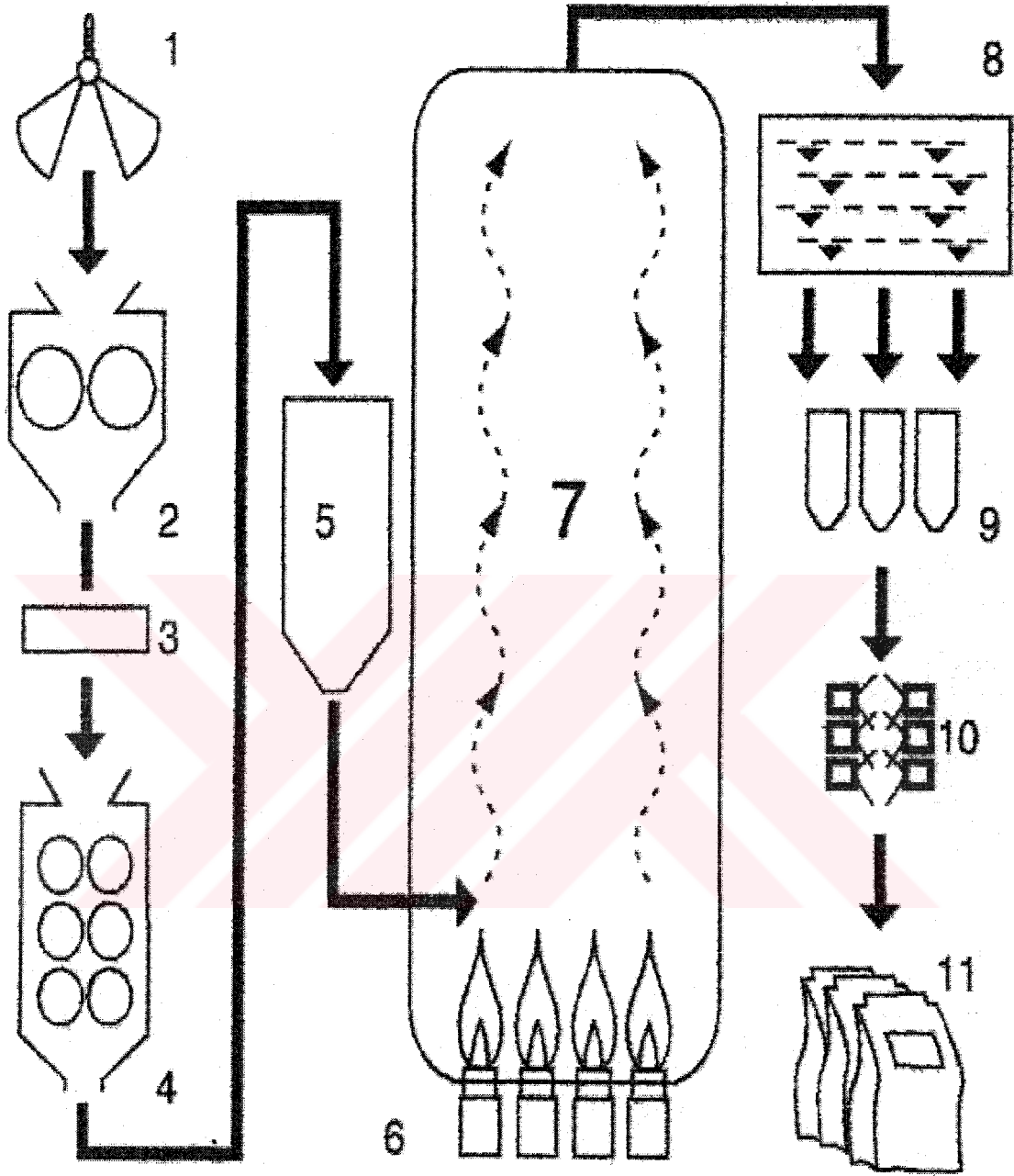
Çok küçük çapta olan kürecikler, öğütülmüş olan cam tozunun bir alev hüzmesinden geçirilmesiyle gerçekleştirilir. Çapları ultra küçük boyutta olan (30-50 μ) kürecikler, içinden oksijen asetilen gazı geçirilmiş ve alev mızrağı oluşturan bir üfleçten geçirilerek ergimiş hale getirilmesi ve mızraktan çıktıktan sonra serbest düşmesinin sağlanarak havada katılaşp, doğal olarak küçük kürecikler haline getirilmesiyle gerçekleştirilir.

Bu mızrağın başlangıç noktasında yeterli sıcaklığa çıkılarak, içinden geçen cam tozunun sıvı hale geçmesi ve serbest düşmesi sağlanır. Bu serbest düşme sırasında hava ile temas halindeki sıvı cam taneciği doğal bir şekilde kürecik formunu alarak katılaşır ve bu şekilde bir hazneye düşer. Cam tozu akış miktarı değiştirilerek üretilen küreciklerin çapları azaltılır veya artırılır.

Alt haznede biriken camlar, gerekli mesh sayısındaki eleklerden geçirilerek kullanıma hazır hale getirilir (Kazıhan K.,1997). İsteğe bağlı olarak üretilmiş olan bu cam kürecikler tekrar bir ısıtma işleminden geçirilebilirler. Şekil 5.1’de üretimin yapılışı gösterilmektedir.

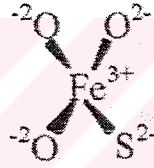
Bu yöntemde sisteme gönderilen cam kırıkları ile, işlem sonrasında elde edilen cam küreciklerinin arasında çok az boyut farklılıkları olduğundan, istenilen tane boyutuna göre küreselleştirme yapılacak partiküller sisteme gönderilmelidir.

Şekil 5.2’de ise bu üretim prosesinin tüm aşamaları gösterilmektedir .



Şekil 5.2 Cam kürecik üretim prosesinin tüm aşamaları ; 1-Geri dönüştürülmüş temiz camın yüklenmesi , 2-Camların kırılması , 3-Öğütülen camların kurutulması , 4-Camların öğütülmesi , 5-Orta seviyeli depolama , 6-Alev mızrakları , 7-Küreselleşme işlemi , 8-Elekle ayırma işlemi , 9-Depolama,10-Yüzey işlem (tercihe bağlı),11-Paketleme (Marini F.,2003) .

Boşluklu cam kürecik üretimi için kullanılan en genel metod ise, eser miktarlarda sülfür ihtiva eden sodyum sülfat ile sodyum borosilikat camının karıştırılması ve daha sonra bu karışımın sıcak bir alev hüzmelerinden geçirilmesiyle, ergimiş cam partikülleri ve sodyum sülfat elde edilir. Sodyum sülfatın ergitilmesi bir ayrışma reaksiyonu oluşturarak, ufak miktarlarda sülfür gazı çıkışına neden olmaktadır. Daha sonra bu sülfür gazı ergimiş cam damlacıklarının içinde baloncuklar oluşturmaktadır. Boşluklu damlacıklar daha sonra hızlı bir şekilde soğutulularak boşluklu cam kürecikler haline dönüşmektedir. Daha evvel de bahsedildiği gibi, bu yaklaşımda, cam içerisine sülfür içeren bir bileşik eklenmesi söz konusudur. Ancak kimyasal ve içecek endüstrisinde kullanılan renk içeren camlar, ağırlıkça yaklaşık olarak % 0,04 oranında sülfür içermektedir ve camın rengi bu içerikten meydana gelmektedir. Cama rengini veren bileşim (Fe^{3+}) iyonuna üç oksijen iyonu (O^{2-}) ve bir sülfid iyonu (S^{2-}) bağlanmasıyla oluşmaktadır (Carlson ; 1998) .



Şekil 5.3 Silikat gazlarındaki renk özelliğini veren bileşim (Carlson ; 1998) .

Renkli camların en tipik uygulamalarından biri ise ışığa hassas sıvıların kaplarının üretimidir.

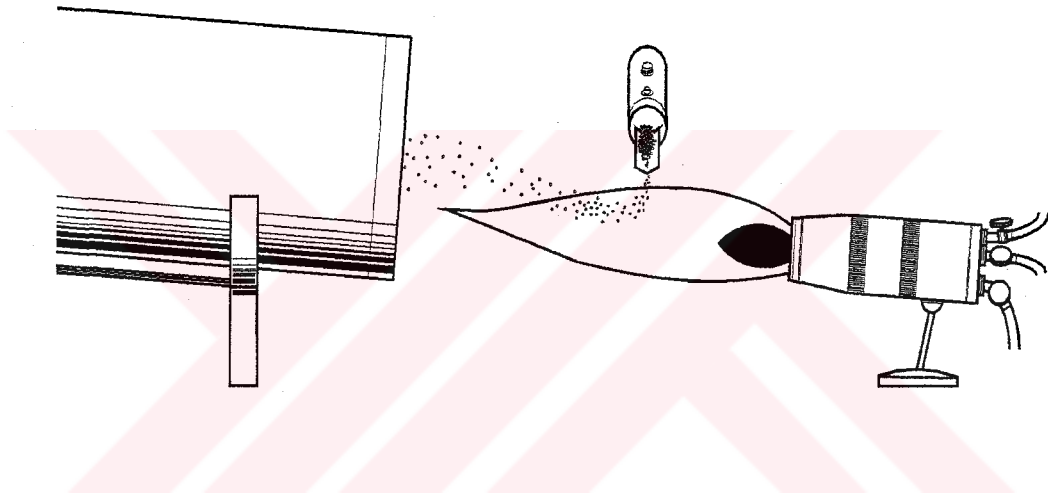
Boşluklu cam üretiminde, renkli camlar doğal olarak sülfür içerdiklerinden dolayı potansiyel öncü malzeme olarak kullanılmaktadır. Renkli cam eriyiklerinden ortaya çıkan sülfür ayrışması, son yıllarda oldukça fazla incelemeye alınan bir konu olmuştur.

Kontrol dışı ayrışan sülfür köpürmeye neden olmakta ve çok dikkat edilmesi gereken bir husustur. Oluşan bu köpürme endüstriyel cam tanklarda kötü etkilere neden olmaktadır.

Bu tip boşluklu cam kürecikler ısıal açıdan yalıtkan, hafiflik veren ve yüzdürücü özellik sağlayıcı katkıların üretimi için uygundur.

Bu yöntemde oksî-metan karışımı alev kullanıldığında iç kısımda oluşan baloncuklar, kürecikler içerisinde oluşturulmaktadır . İç kısımda oluşan baloncuklar, küreciğin ağırlığında azalma oluşturulmaktadır.

Farklı renkli cam kaplar, bilyalı öğütücüler kullanılarak cam kırıkları haline getirilmektedir. Eleme yöntemiyle farklı boyut aralığındaki partiküller gruplandırılmaktadır. Partiküllerin nem nedeniyle birbirine veya bulunduğu ortama yapışması düzgün bir dağılım oluşmasını engellemektedir. Bu durum eleme yapılmadan önce kurutucu fırınlarda bekletilmeleriyle ve ufak miktarlarda kullanım ile önlenmektedir. Şekil 5.4’de görüldüğü gibi cam kürecikler istenilen boyut aralıklarında üretilebilmektedir.



Şekil 5.4 Cam kürecik üretiminde kullanılan aparatların şematik bir şekilde gösterilişi (Carlson; 1998) . . .

Sadece katı kürecikler elde edilmesi isteniyorsa, alev, oksijen ve propan karışımı kullanılarak oluşturulmalıdır. Eğer boşluklu kürecikler üretilecek ise oksî-metan alevi tercih edilmektedir. Yoğunluk ölçümleri farklı numuneler üzerinde helyum pnometresi kullanılarak yapılır ve sonuçta içerisinde baloncuk ihtiva eden kürecik miktarları tespit edilmeye çalışılır.

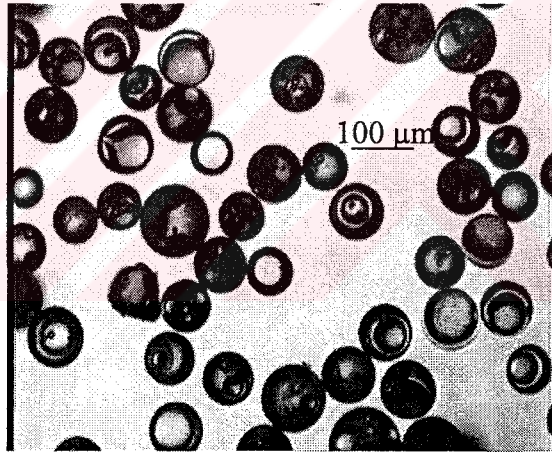
Dikkat edilmesi gereken noktalar alev sıcaklığının iyi ayarlanması ve optimum sıcaklığa erişilmesidir. Az veya aşırı alev sıcaklığı yapının bozulması tam olarak istenilen boşluk yapısının elde edilmesini engellemektedir.

Bazı durumlarda alev sıcaklığı yetersiz ise, tam olarak bir ergime elde edilemez ve kısmi bir ergime oluşur. Oksi-propan karışımı ile istenilen iç boşluklar elde edilemediği durumda oksi-metan karışımı da kullanılabilir.

Oksi-propan alevi ile baloncuklar elde edilemeyebilir. Çünkü alev sıcaklığı çok yüksek olabilmektedir ve baloncuklar katılaşmadan birbirleri üzerine katlanmaktadır.

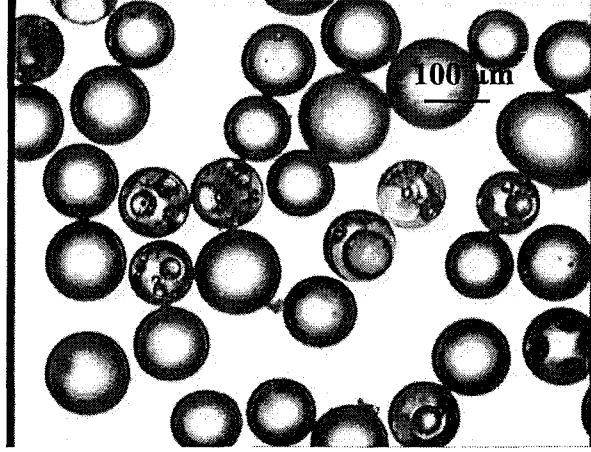
Oksi-metan alevi kullanılarak tamamiyle boşluklu kürecikler elde edilemesede, yeterli miktarlarda boşluklu kürecikler üretilmektedir.

75-106 μm boyutuna sahip cam karışımı sonucunda yüksek miktarlarda küçük ve büyük boyutlarda baloncuklar elde edilmiştir. Bu boyut aralığı kullanılarak en fazla miktarda baloncuk sayısına ulaşılmıştır .



Şekil 5.5 75-106 μm boyutlarındaki cam kırıklarının küreselleştirilmesiyle elde edilmiş olan küreciklerin , optik mikroskoptaki 10x büyütme ile gösterilmesi (Carlson; 1998) .

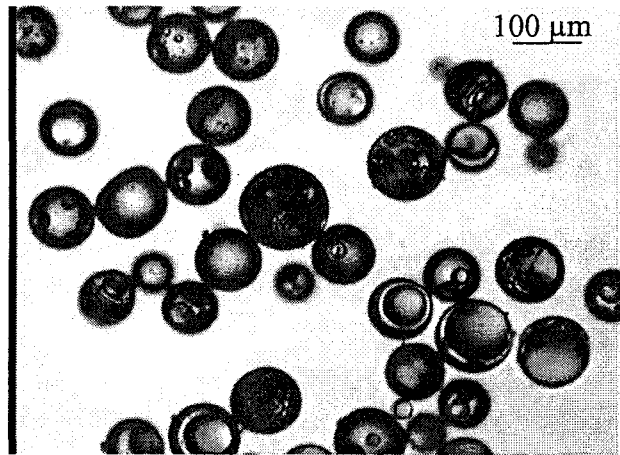
Oksi-propan ile yoğunluk 2.4350 g/cm^3 , oksi-metan alevi ile ise 2.1326 g/cm^3 dir. Alev sıcaklığının camı neredeyse tamamiyle ergitecek seviyelerde olduğu görülmüş, ancak tam olarak katı kürecikler elde edebilecek yeterli seviyede olmamaktadır. Bu boyutlardaki cam kırıklarından elde edilen boşluklu kürecik oranı diğer boyutlardakinden daha fazladır. Şekil 5.6 da görüldüğü gibi, 106-150 μm boyutundaki parçacıklar kullanıldığında, 75-106 μm olanlara nazaran daha az boşluklu kürecikler elde edilmektedir.



Şekil 5.6 106 -150 μm boyutlarındaki cam kırıklarının küreselleştirilmesiyle elde edilmiş olan küreciklerin , optik mikroskoptaki 10 x büyütme ile gösterilmesi (Carlson; 1998) .

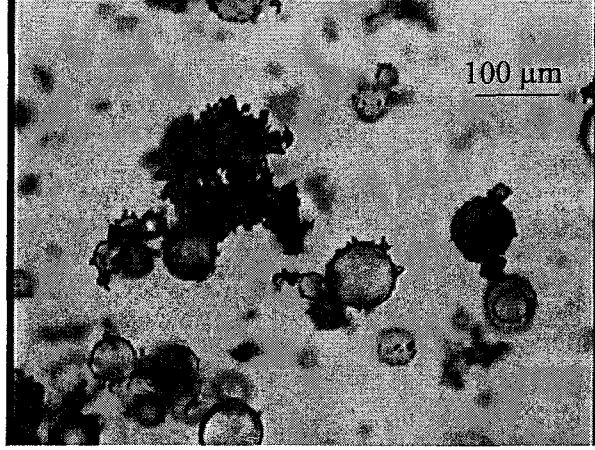
Baloncuk içeren küreciklerde, 75-106 μm ' lik örnekte görüldüğü gibi tek ve büyük bir baloncuk yerine daha küçük fakat sayıca daha fazla baloncuklar görülmektedir. Oksi-propan ile yoğunluk 2.5007 g/cm^3 oksi-metan alevi ile ise 2.4407 g/cm^3 dir.

63-75 μm ' lik boyutlardaki cam kırıklarda üretilen küreciklerde, 106-150 μm 'liklere nazaran daha fazla balonlu kürecik üretilmiştir. Oksi-propan ile yoğunluk 2.5661 g/cm^3 oksi-metan alevi ile ise 2.5061 g/cm^3 ' dür. Bu kürecikler şekil 3.7 de gösterilmektedir.



Şekil 5.7 63-75 μm boyutlarındaki cam kırıklarının küreselleştirilmesiyle elde edilmiş olan küreciklerin , optik mikroskoptaki 10 x büyütme ile gösterilmesi (Carlson; 1998) .

63 μm altındaki cam kırıklarının küreselleştirilmesi işlemi boşluklu veya boşluksuz kürecik elde edilmesi açısından zorluk yaratmaktadır. Partiküllerin hafif olası nedeniyle, ateşin üst noktasına savrulurak, alevin içine girdiğinden dolayı yarı ergimiş aglomerler ve kısmi ergimiş partiküller oluşmaktadır. Bu durum şekil 5.8 de verilmiştir (Carlson; 1998).



Şekil 5.8 63 μm boyutlarından daha küçük boyutlardaki cam kırıklarında elde edilmiş kürecik ve aglomerlerin , optik mikroskoptaki 10x büyütme ile gösterilmesi (Carlson; 1998) .

Bu küreciklerde fazla miktarda aglomerasyon oluşması nedeniyle yoğunluk ölçümleri yapılamamıştır. Küçük boyutlardaki partiküllerin verimli bir şekilde alevin içine şarj edebilecek bir tasarım yapılabilmesiyle bu sorun çözülebilmektedir. Bunun yanında alev sıcaklığını kontrol edebilecek bir optik pirometre kullanılmasıyla sistem kontrol altında tutulabilir (Carlson; 1998).

Gözenekli cam kürecik üretimi için nükleer yol tekniği denilen bir yöntemden yararlanılabilmektedir. Bu yöntemle, soda-kireç cam küreciklerinde gözeneklerin oluşturulması başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Gözenek oluşturulacak küreciklerin boyutları ise en az 40 μm olmalıdır. Bu yöntemle oluşturulan gözeneklerin yoğunluğu uranyumun konsantrasyonu ve nötron ışımasına bağlıdır. ^{235}U konsantrasyonu istenilen gözenek yoğunluğunu oluşturacak düzeyde değilse, bu problemi aşmak için uranyum konsantrasyonu yüksek olan bir ortamla temas ettirilirler. Gözenek boyutları uygun dağılayıcı konsantrasyonu ve dağılama süresi belirlenerek ayarlanabilmektedir.

Bu kürecikler daha çok kromatografi alanında ve ilaç sektöründe kullanılmaktadır. İlaç sektöründe kullanılan kürecikler, enzimlerin, katalizörlerin ve ilaçların taşınması için inert özellikte bir araçlardır.

Işıma yoluyla üretilmeyen gözenekli küreciklerle, bu yöntemle üretilen kürecikler karşılaştırıldıklarında görülmüştür ki, ışıma yoluyla üretilen küreciklerde oluşturulan kürecikler iç kısımda birbirleriyle bağlantılıdır. Diğer yöntemlerdeki gözeneklilik ise sadece yüzeyde oluşturulabilmektedir. Bu küreciklerin ilaç sektöründe daha çok tercih edilmesinin nedeni ise, taşınacak olan enzim veya ilaçların küreciğe daha iyi tutunabilmeleri ve istenildiğinde daha kolay elde edilebilmeleridir. Buna ek olarak bu malzemeler moleküler süzgeç olarak da kullanılabilir.

Bu yöntem temelinde, nötron bombardımanına tutulmuş, yüklü parçacıkların matris malzeme içinde gizli radyasyon hasar bölgeleri oluşturulmasına dayanmaktadır. ^{235}U izotopunun nötron bombardımanı sonucu ışımasıyla oluşan yüklü parçacıkların yayılımı sonucu hasar bölgeleri oluşmaktadır. Oluşan bu hasar bölgeleri “yol” olarak da tabir edilmektedir. Bu hasar bölgeleri daha sonra kimyasal bir şekilde dağlanarak genişletilebilmektedir. Yüzeyde veya iç bölgelerde oluşan gözeneklerin sayısı, ^{235}U izotopunun uyarılmasını sağlayan nötronların bombardıman yoğunluğuna bağlıdır. Oluşan gözeneklerin çapı dağlama çözeltisinin konsantrasyonuna ve dağlama süresine bağlıdır. Dağlayıcı bileşimleri konsantrasyonları ve süreleri Çizelge 5.1 ‘ de verilmiştir (Carpenter ; 1986) .

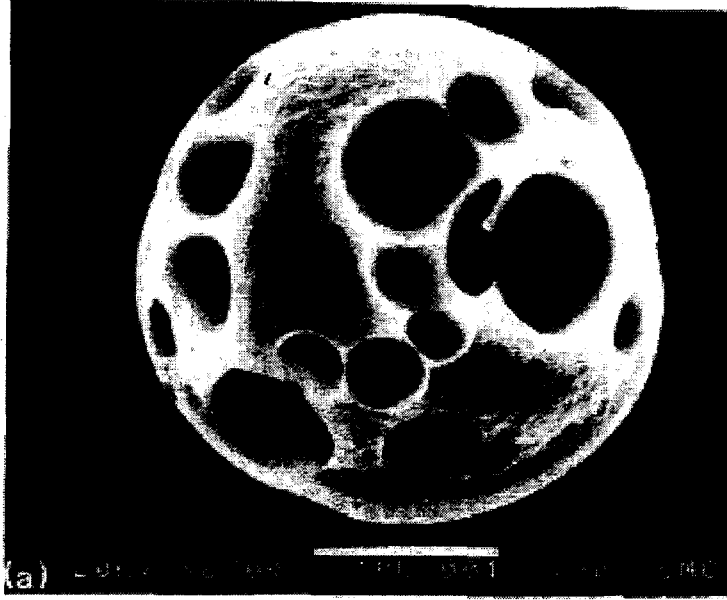
Çizelge 5.1 Gözenek üretim şartları ve sonuçları (Carpenter ; 1986) .

Numune	Işıma Süresi (s)	Dağlama Süresi (dak)	Kürecik Boyut Aralığı (μm)	Gözenek Boyut Aralığı (μm)	Ortalama Gözenek Çapı (μm)
1	300	I/4	23.8-41.1	0.71-4.9	1.69
2	150	I/4	28.2-32.8	1.01-16.45	5.28
3-1	75	II/5	30.5-42.8	0.79-6.84	2.20
3-3	75	III/5	27.5-39.8	0.55-2.20	1.36
3-4	720	IV/7	27.5-39.8	0.72-3.60	1.48
4	180	I/4	27.5-41.6	0.45-19.3	2.26
5-4	180	IV/10	23.8-37.5	0.08-3.41	1.51
5-5	180	III/0,5	37.5-41.7	< 1.0	<1.0
5-7	180	III/3	30.8-43.7	0.50-9.68	1.58
5-10	180	IV/7,5	28.4-40.1	0.48-3.98	1.44
6	180	IV/5	28.1-39.1	0.41-5.04	1.56
7	180	III/5	33.9-43.6	1.08-10.8	2.75
8	180	II/3	28.3-37.3	1.12-9.44	2.97
9	180	I/5	30.8-33.3	3.60-020	2.88

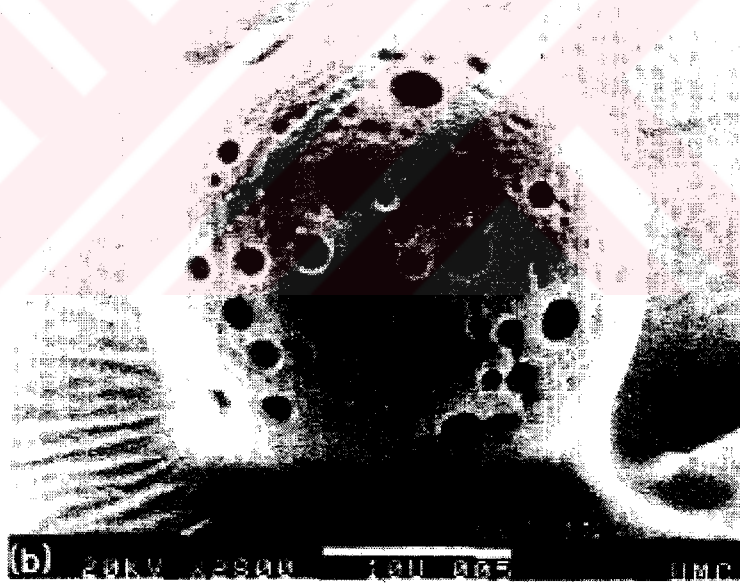
Dağlayıcılar:I-5%HF; II-2%HF ; III- 1%HF ; IV-0.5%HF ; V-HF,HCL,HNO₄ ,H₂O

1,2,3,1.18.

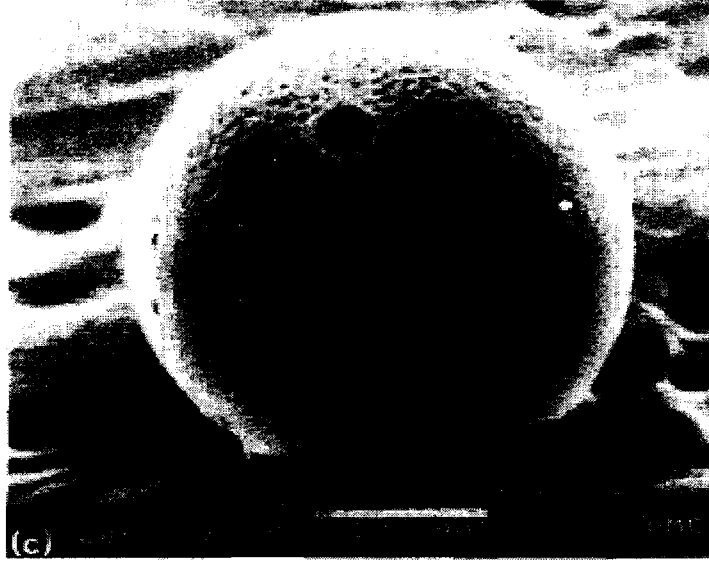
Küreciklerdeki eser miktarlarda bulunan uranyum konsantrasyonu, yüzeyde oluşan gözenek konsantrasyonunu değişken hale getirmektedir. Bu değişkenlik SEM mikro fotoğraflarıyla belirtilmiştir.



Şekil 5.9 % 5 ' lik HF ile 4 dakika dağlanmış olan gözenekli mikroküreciğin mikrofotoğrafı
(Carpenter ; 1986) .

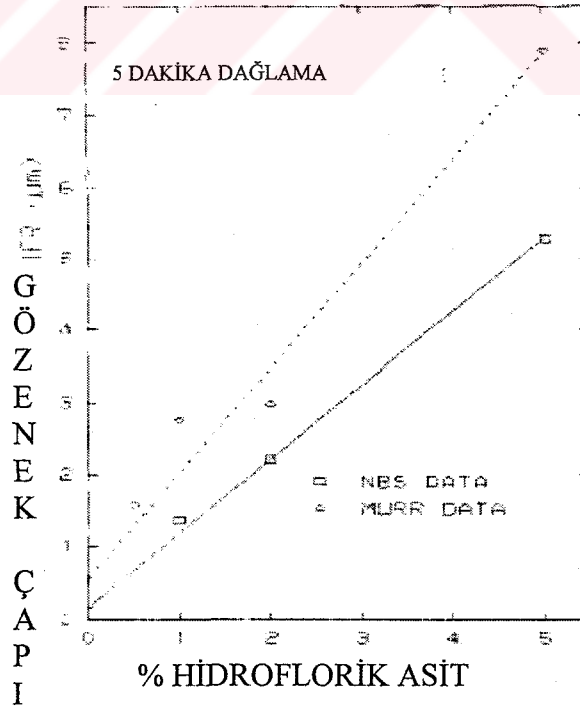


Şekil 5.10 % 1 ' lik HF ile 5 dakika dağlanmış olan gözenekli mikroküreciğin mikrofotoğrafı
(Carpenter ; 1986) .



Şekil 5.11 % 0,5 ' lik HF ile 5 dakika dağlanmış olan gözenekli mikroküreciğin mikrofotografı (Carpenter ; 1986) .

Daha büyük gözenekler , kuvvetli dağlayıcılar kullanılması ve daha uzun dağlama süreleri ile elde edilir . Şekil 5.12 ' de sabit bir dağlama süresinde , dağlama konsantrasyonuna bağlı olarak gözenek boyutunun değişimi verilmiştir .



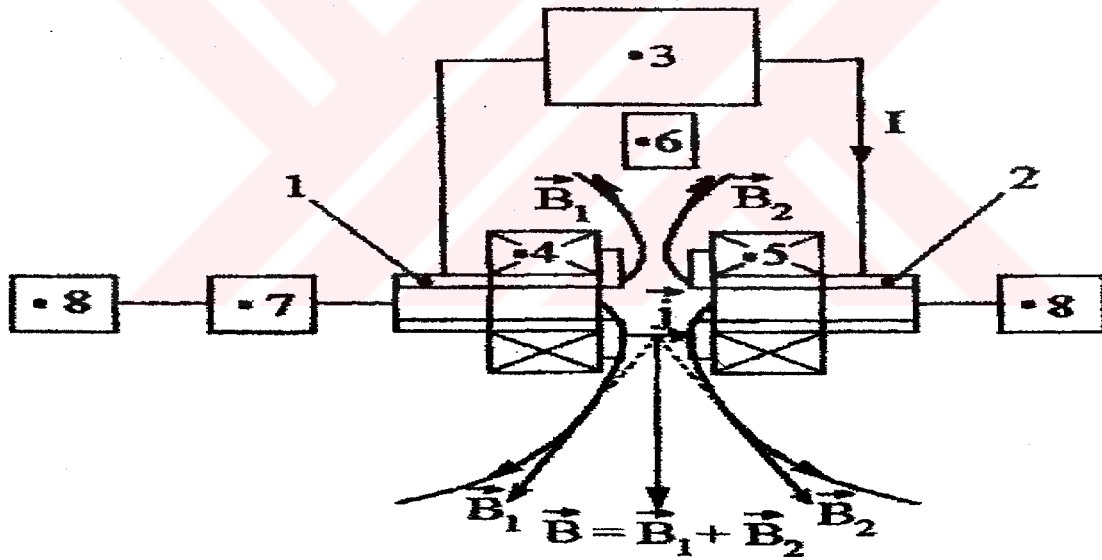
Şekil 5.12 Ortalama gözenek çapı ve HF dağlayıcı konsantrasyonu arasındaki ilişki (Carpenter ; 1986) .

5.2 Elektrik Ark Yöntemi

Diğer bir üretim yöntemi ise elektrik ark yöntemi ile cam kırıklarının küreselleştirilmesidir. Şekil 5.13’de döner elektrik ark plazması gösterilmektedir. Görüldüğü üzere 1 ve 2 numaralı elektrodlar sistemin ana kaynağı olan ve 3 numara ile gösterilen I akım değerini sağlamaktadırlar. 4 ve 5 numaralı bobinler ise manyetik alan yaratmaktadırlar. Böylece B indüksiyonu elektriksel deşarj akım vektörü olan J ’ye dik olmaktadır. Manyetik alan ve akımın etkileşimi sonucu Lorentz kuvveti oluşmaktadır.

$$F = J \times B \quad (5.1)$$

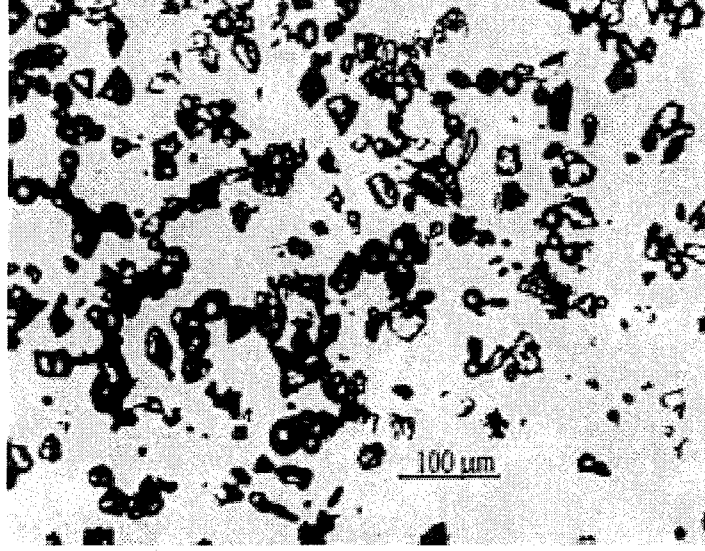
Frekans ise 6 numaralı aygıt ile ölçülmektedir. 7 numaralı aygıt ile gaz basıncı altındaki cam partikülleri, önceden belirlenmiş akış hızlarıyla, ısı olarak iyonize olmuş gazın içine taşınmaktadırlar (Bica I;2000).



Şekil 5.13 Elektrik ark yöntemi ile cam kürecik üretim metodu

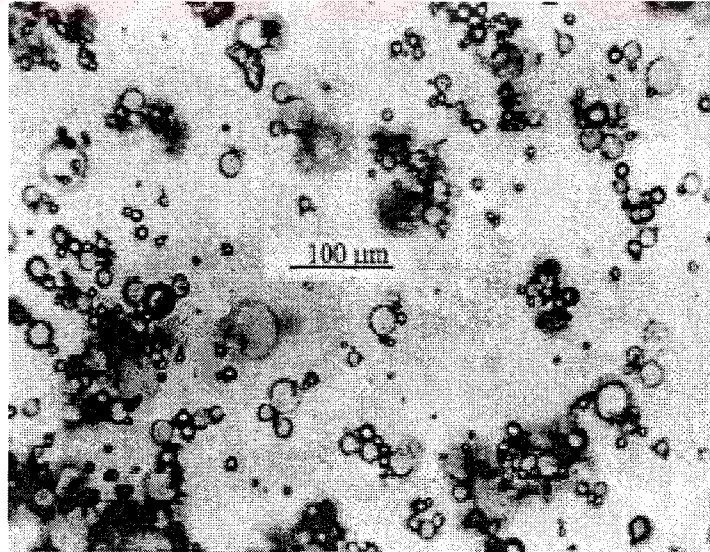
1,2 -İyi soğutulmuş elektrodlar ; 3-Akım kaynağı ; 4,5-Bobinler ; 6-Elektrik ark rotasyonunu belirten blok ; 7-Cam tozunun dozajlama aygıtı ; 8-Sıkıştırılmış gaz silindirleri ve akışmetreli basınç düşürücüler (Bica I;2000) .

Bu yöntemde partiküllerin akış hızı , $D_p = 20$ gr/dak. olduğunda kısmen küresel yapı elde edilmektedir . (Şekil 5.14)



Şekil 5.14 Elektrik ark yöntemiyle elde edilmiş olan akış hızı 20 gr/dak. seçildiği durumdaki kısmen küreselleştirilmiş cam partikülleri (Bica I;2000) .

Partiküllerin akış hızı azaltılarak, küresel şekil elde etme verimi artmaktadır. Akış hızı 20 gr/dak olarak belirlendiğinde küreselleşme verimi yaklaşık olarak %30 iken, hızın 2 gr/dak 'ya düşürülmesiyle verim % 85 seviyelerine kadar çıkmıştır . (Şekil 3.4)



Şekil 5.15 Elektrik ark yöntemiyle elde edilmiş olan akış hızı 2 gr/dak. seçildiği durumdaki kısmen küreselleştirilmiş cam partikülleri (Bica I;2000) .

Bu yöntemde argon gazı ortamında $5 \times 10^3 \text{ W}$ 'lık elektrik arkı oluşturulmuş ve sabit bir manyetik alan (26 mT) kullanılarak, 850 s^{-1} 'lık frekans ile döndürülmüştür. Bu sistem cam kürecik elde etmek için uygulanılabilecek kullanışlı bir araçtır (Bica I;2000).

5.3 Diğer Yöntemler

Yukarıda anlatılan yöntemler dışında da bir çok yöntem ile cam kürecik üretebilmek mümkündür. Çünkü burada asıl işlem cam partiküllerinin belirli bir sıcaklıkta küreselleşmesinin sağlanmasıdır ve bu sıcaklığa ulaşmak için gerekli olan ısı çok farklı yöntemlerle sisteme dahil edilebilmektedir. Bu yöntemlere örnek olarak plazma sprej metodu, sol-gel metodu ve alevle parlatma metodu gösterilebilir. Plazma sprej metodunda argon gazı plazma oluşturma gazı olarak kullanılmaktadır (Shekhovtsova, Z. E.;2001) .

Alevle parlatma yönteminde ise, köşeli katı partikülleri yumuşama yada ergime sıcaklığına kadar sıcak gaz ortamında bekletilirler. Partiküller yumuşadıklarında ise yüzey formları küreselleşmektedir. Eğer bu sıcaklıktan itibaren tekrar katılaşma sıcaklığına kadar soğutulurlarsa, partiküller genel olarak küresel formda elde edilirler (Castle R. B;1999).

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

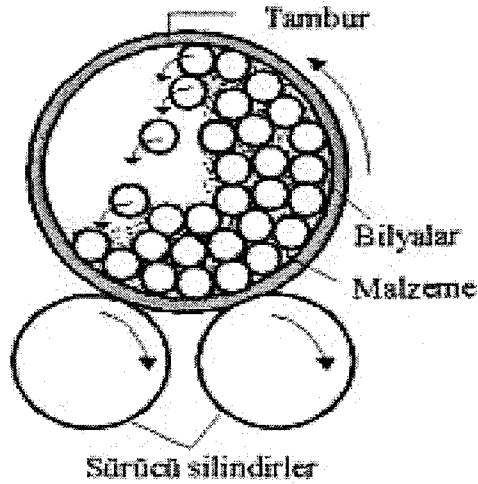
Bu çalışmada, pencere camı olarak kullanılmış ve atık haline gelmiş, soda camı olarak tanımlanan cam kırıkları önce çeneli kırıcıda kırıcılarla boyutu 1 mm'nin altına düşürüldükten sonra bilyalı değirmende 0,05 mm boyuta kadar öğütülmüştür. Öğütülen camlar her işlem sonunda tane dağılımını belirlemek için elek analizine tabi tutulmuştur.

Tane boyutu 0,040 – 0,090 mm , 0,075 – 0,150 mm, 0,105 – 0,210mm , 0,150 -0,250 mm, 0,180 – 0,300 mm ve 0,300 – 0,400 mm ile 0,420 – 0,820 mm aralıklarında olacak şekilde sınıflandırma yapılmıştır. Bu gruplardan alınan örnekler ergitme deney düzeneğinde kürecik forma getirmek amacıyla deneylere tabi tutulmuştur.

Deney sonucu cam parçacıkların küreselleşme koşulları belirlenmeye çalışılmıştır. Mikroskop altında şekiller görüntülendi ve boyutları ölçülmüştür.

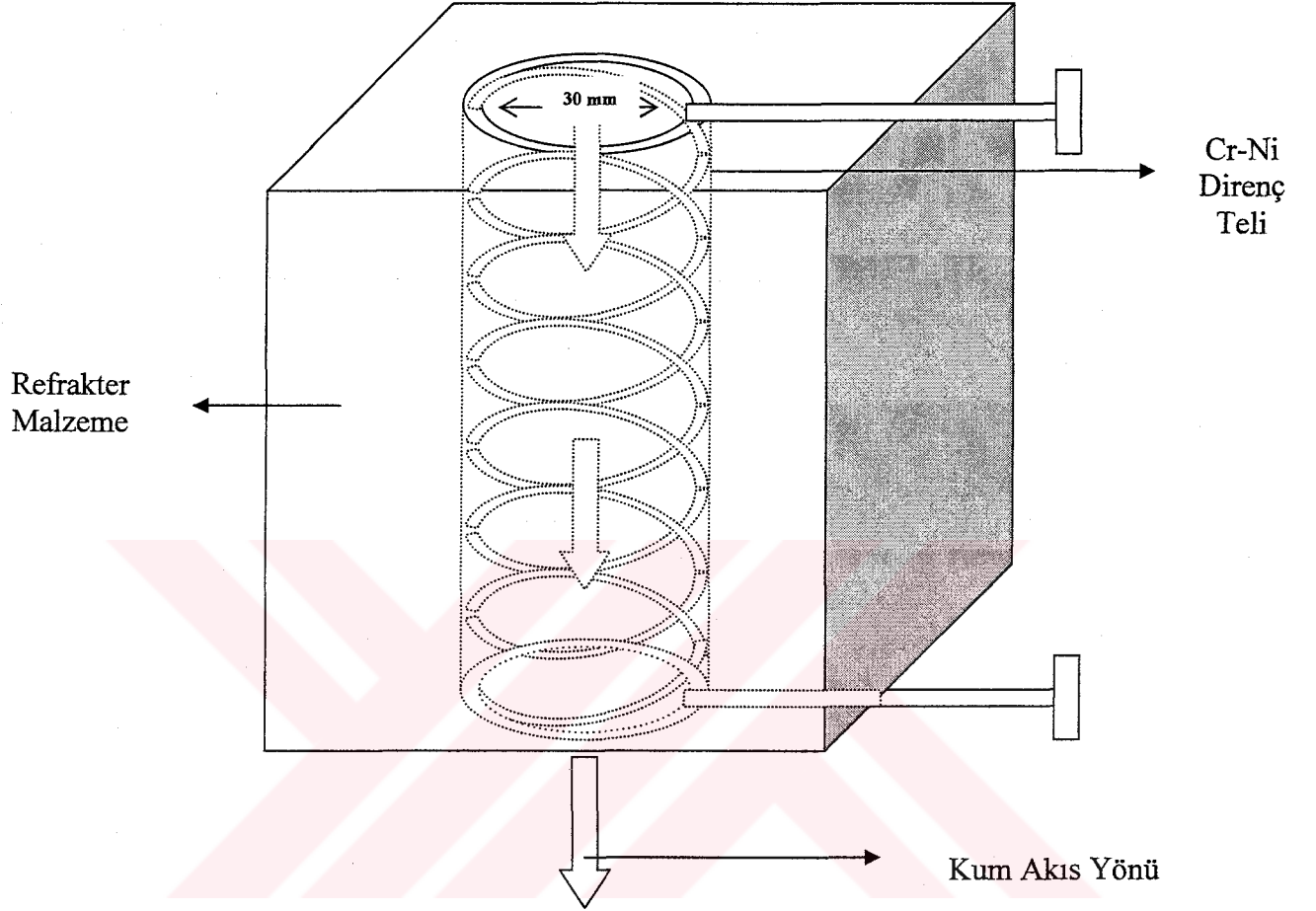
6.1 Deneyde Kullanılan Cihazlar

Yapılan bu çalışmada, öğütülmüş cam partiküllerinin kırılma işlemi çeneli konik kırıcıda, öğütülme işlemi ise seramik toplu tamburlu öğütücülerde yapılmıştır.



Şekil 6.1 Öğütme işleminde kullanılan bilyalı değirmen .

Elde edilen bu köşeli taneciklerin küreselleştirilmesi için şekil 6.2 ' de temsili şekilde gösterilen bir fırın tasarlanmıştır.



6.2 Küreselleştirme işlemi için tasarlanan içi silindirik boşluklu fırın .

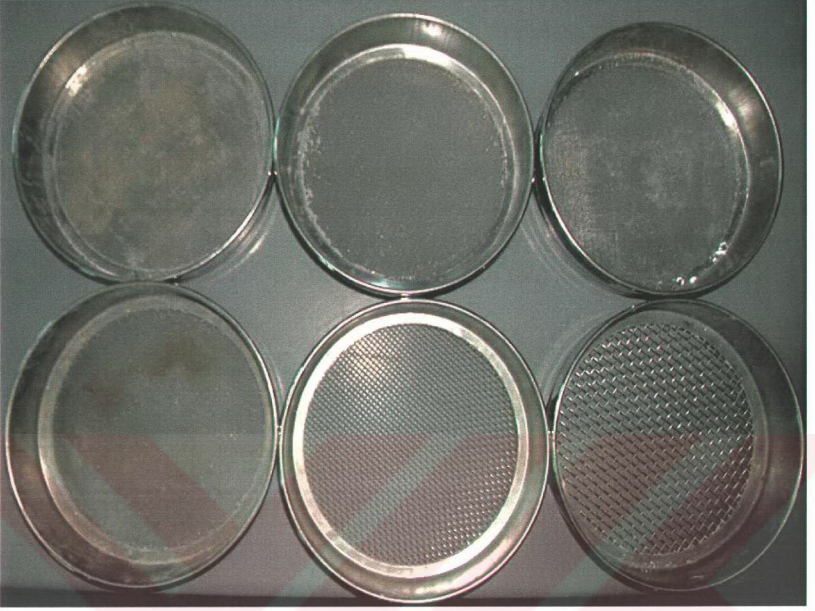
Köşelerinin giderilmesi ve küreselleştirilmesi için gerekli olan ısı, elektrik enerjisi ile sağlanmıştır. Akım yoğunluğunun ayarlanması için şekil 6.3 'te gösterilen ark kaynağı transformatöründen yararlanılmıştır. Sisteme gönderilen akım 80 A ve gerilim ise 23,2 V olarak ayarlanmıştır.



Şekil 6.4 Leica marka optik mikroskoblu görüntü analiz cihazı.

Bu mikroskopta incelen cam partikülleri, yine aynı cihazda resimlendirilmiştir. Yapılan tüm incelemeler 50 x büyütmede yapılmış ve resimlendirilmiştir.

Cam partiküllerinin boyutlarına göre sınıflandırılmasında ise şekil 6.5 ' de gösterilen ASTM standartlarındaki paslanmaz çelik eleklerden yararlanılmıştır.



Şekil 6.5 ASTM standartlarındaki paslanmaz çelik elekler.

Cam parçacıklarının sisteme gönderilmesinde ise çıkış delik çapı 0,5 mm ve 0,9 mm olan seramik çubuklardan yararlanılmıştır.

Fırının ısı izolasyonunu sağlamak amacıyla kullanılan malzeme ise, ytonğ ısı yalıtım malzemesidir. Bu malzeme deney sırasında çıkılan 1300°C dolaylarındaki sıcaklıklarda kullanılmıştır.

Cam parçacıklarının ağırlıklarının belirlenmesinde aşağıdaki şekilde gösterilen elektronik tartıdan yararlanılmıştır.



Şekil 6.6 Cam parçacıklarının ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan elektronik tartı.

6.2 Deneylerin Yapılışı

Yapılan tüm deneylerde toplanan cam artıkları öncelikle ayırma, yıkanma ve kurutulma işlemine tabi tutulmuşlardır. Reflektör malzeme olarak kullanılan camların renksiz alkali camları olması gerekmektedir. Bu nedenle öncelikle toplanan cam artıkları içerisindeki camlar ayrılmışlardır. Ayrılan bu cam artıkları daha sonra su ile yıkanmış ve aralarından sıcak hava geçirilerek kurutulmuşlardır. Kurutulan camlar çeneli konik kırıcılarda kırılmış ardından seramik toplu değirmenlerin içinde öğütülmüş ve elenerek boyut sınıflandırmasına tabi tutulmuşlardır.

Bir metal tozu üretim tekniği olmakla birlikte, diğer tekniklerle üretilmiş ancak kümeleşmiş tozların kırılması için de kullanılan öğütme, en çok bilyalı değirmenlerde yapılmaktadır. Öğütülecek camlar, içinde büyük çaplı, sert ve aşınmaya karşı dayanıklı seramik bilyaların bulunduğu kaba yerleştirilmiştir. Kap döndürülerek bilyalar harekete geçirilmiştir. Bu yöntemle cam kırıkları, çok ince mikron mertebesindeki tozlara dönüştürülmüştür.

Kırılan cam parçacıklarının tane yapısı köşeli ve Şekil 6.7 ve 6.8’de görüldüğü gibidir.



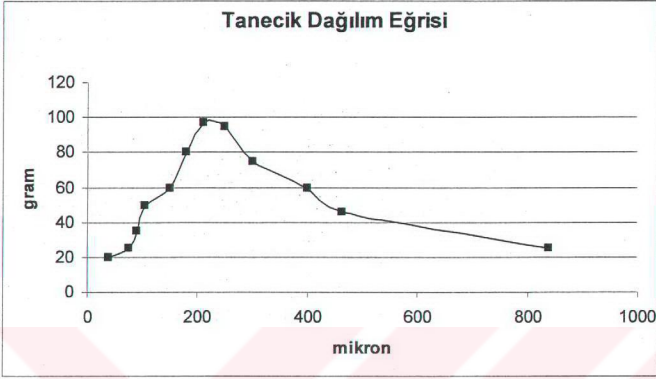
Şekil 6.7 Mekanik yolla öğütülmüş 75-150 mikron aralığındaki cam parçacıkları .

Mekanik olarak elde edilmiş cam partiküllerinin şekil ve boyutları şekil 6.8 ’ de gösterilmektedir.



Şekil 6.8 Mekanik yolla öğütülmüş 40-210 mikron aralığındaki cam parçacıkları.

Elde edilen köşeli cam partiküllerinin tane dağılım grafiği aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.



Şekil 6.9 Cam partiküllerinin tanecik dağılım eğrisi .

Şekil 6.2’de temsili bir şekilde gösterilen içi silindirik bir şekilde boşaltılmış olan fırının üst kısmındaki boşluktan içeriye, öğütülmüş ve boyut sınıflandırmasına tabi tutulmuş olan cam partikülleri sırayla gönderilmiştir.

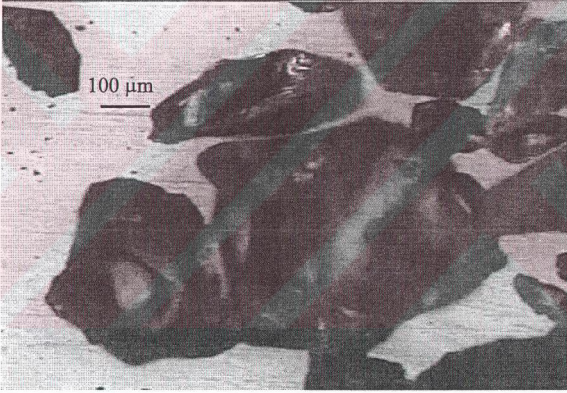
Küreselleştirme fırınının iç kısmı, işlem sırasında 1300°C olacak şekilde ayarlanmıştır.

Oklarla ifade edilen yön cam partiküllerinin akış yönüdür . Partiküller yukarıdaki delikten şarj edilmiştir. Yerçekimi etkisiyle fırının içinden geçen partiküller alt kısımda bulunan haznede biriktirilmiştir.

Partiküllerin akış hızı ve boyutlarında yapılan değişiklikler sistemin sıcaklığını değiştirdiğinden küreselleştirme işlemini direk olarak etkilemektedir.

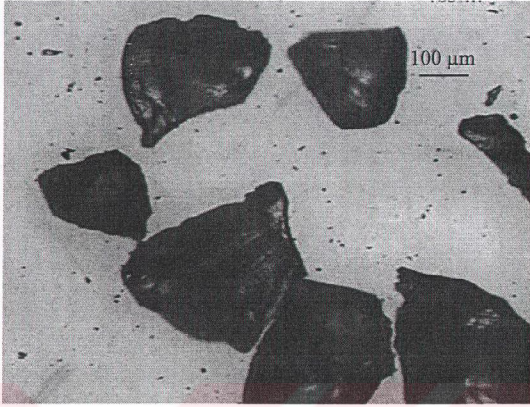
6.2.1 Cam Partiküllerinin Akış Hızının Ve Boyutlarının Belirlenmesi

Fırının iç kısmına sarılmış olan direnç telinden akım geçirilmesiyle birlikte yükselen sıcaklık 1300 °C olduğunda, sisteme öncelikle 0,5 mm çapındaki bir delikten 420-840 mikron aralıklarında cam partikülleri gönderilmiştir. Deney sırasında ergimesi için gereken ısıyı sistemden çeken partiküller, sıcaklığın camın ergime sıcaklığı olan 1200 °C altına düşmesine neden olmuşlardır. Alt haznede biriken 420-840 mikron aralığındaki cam partikülleri toplanarak, küreselleşmenin sağlanıp sağlanmadığını belirlemek üzere mikroskop altında 50 büyütmede incelenmiştir. Yapılan inceleme sonucunda cam partiküllerinin boyutlarının büyük olmasından dolayı, fırın içerisinden geçerken, havada erimeleri sağlanamadığından küreselleşememişlerdir. Aşağıdaki şekilde küreselleşme işlemine tabi tutulan ancak küreselleşememiş 420-840 mikron aralığındaki cam partikülleri gösterilmektedir.



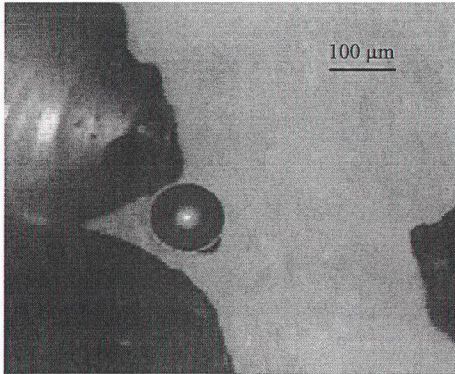
Şekil 6.10 Küreselleşme işlemine tabi tutulan ancak küreselleşememiş 420-840 mikron boyutlarındaki cam partikülleri .

İkinci olarak 180-300 mikron aralığındaki cam partikülleri, sisteme delik çapı 0,5 mm olan seramik çubuktan, alt haznede inceleme için yeterli miktarda parçacık birikene kadar gönderilmiştir. Elde edilen camlar yine mikroskop altında 50 büyütmede incelenmiş ancak aynı nedenlerden dolayı yine istenen küreselleşmenin sağlanamadığı görülmüştür. Aşağıdaki şekilde küreselleşememiş 180-300 mikron aralığındaki cam partikülleri gösterilmektedir.



Şekil 6.11 Küreselleşme işlemine tabi tutulan ancak küreselleşememiş 180-300 mikron boyutlarındaki cam partikülleri.

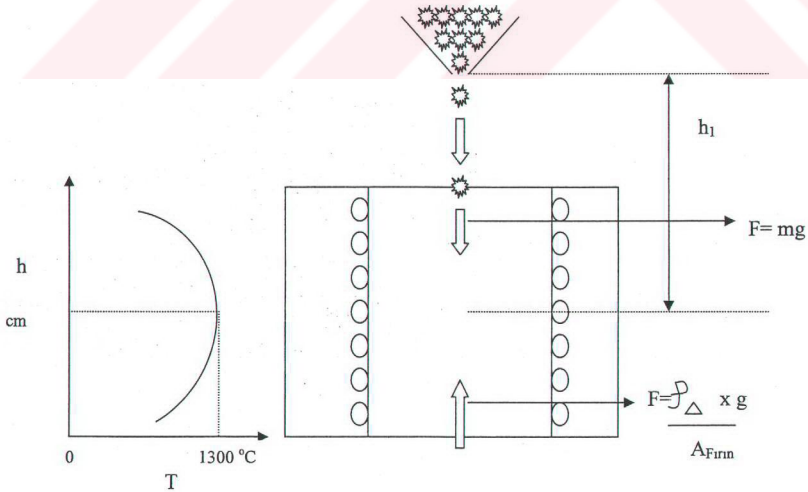
Üçüncü olarak 75-150 mikron aralığındaki cam partikülleri, sisteme delik çapı 0,5 mm olan seramik çubuktan, alt haznede inceleme için yeterli miktarda parçacık birikene kadar gönderilmiştir. Elde edilen camlar yine mikroskop altında 50 büyütmede incelenmiş ve nihayet çok az miktarda da olsa cam kürecik elde edilmiştir. Şekil 6.7 de elde edilen az miktardaki küresel camlar gösterilmektedir.



Şekil 6.12 Küreselleşme işlemine tabi tutulan ve kısmen küreselleşmiş 75-150 mikron boyutlarındaki cam partikülleri.

Mikroskopta yapılan incelemede görülmüştür ki, daha çok küçük boyutlu parçacıklar küreselleşmişlerdir. Ayrıca deney sırasında fırın sıcaklığındaki azalma göz önünde bulundurulduğunda, küreselleşen parçacıkların fırına ilk gönderilen küçük boyuttaki parçacıklar olduğu anlaşılmıştır. Bu nedenle daha önceden elenerek ayrılan 40-90 mikron boyut aralığındaki cam partikülleriyle deney tekrarlanmıştır.

Yapılan bu dördüncü denemede cam partiküllerinin ağırlığının küçük olması nedeniyle daha önceden yaşanmayan bir uçuşma problemiyle karşılaşmıştır. Fırının içi delik olmasından dolayı, fırın içerisinde bir hava akımı oluşmaktadır. Bu akımın kaldırma kuvveti 60 mikrondan daha düşük boyutlardaki cam partiküllerinin üzerindeki yerçekimi kuvvetinden daha fazla olmasından dolayı, bu partiküllerin fırının içerisinden geçerek aşağıya düşmesini engellemişlerdir. Deney açık ortamda yapıldığından, ısıtma yapılan bölge ile çevre arasında gradyent etkisi ile yüksekte bırakılan cam parçacıklar serbest düşmemiştir. Parçacık ağırlığının oluşturduğu kuvvet ile havanın yoğunluk farkı nedeniyle oluşan kaldırma kuvveti arasındaki ilişki partiküllerin serbest düşmesini belirler. Burada parçacıkların aşağıya, serbest düşmenin etkisiyle düşebilmesi için, parçacık ağırlığının yerçekimiyle birlikte oluşturdukları kuvvetin, sıcak havanın kaldırma kuvvetinden fazla olması gerekmektedir. Bunu fırının kesit alanı ve parçacık boyutunu değiştirerek ayarlamak mümkündür. Şekilde sıcak havanın kaldırma kuvveti ile fırın kesiti arasındaki ilişki gösterilmektedir.



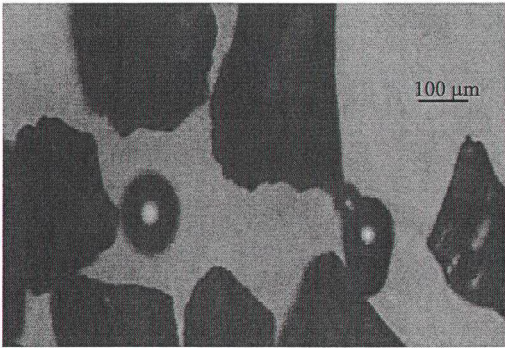
Şekil 6.13 Sıcak havanın kaldırma kuvveti ile fırın kesiti arasındaki ilişki .

Şekil 6.8’de gösterildiği gibi ısınan havanın yoğunluk farkından dolayı fırın içerisinde aşağıdan yukarıya doğru bir hava akımı oluşmaktadır. Bu hava akımının kaldırma kuvveti fırın kesit alanının azaltılıp artırılmasıyla değiştirilebilmektedir. Fırın kesit alanı ile sıcak havanın kaldırma kuvveti arasındaki bağıntı aşağıda verilmektedir.

$$F_{\text{hava}} = \frac{\rho_{\Delta} \times g}{A_{\text{fırın}}} \quad (6.1)$$

Yukarıdaki bağıntıdan da görüldüğü gibi fırın kesit alanı artırıldıkça havanın kaldırma kuvveti azalmaktadır. Bunun nedeni, artan kesit alanının fırın içerisindeki havanın sıcaklığının düşmesine ve dışardaki hava ile arasındaki sıcaklık farkının azalmasına neden olmaktadır. Fırın içerisindeki sıcak havanın, dışardaki hava ile arasındaki sıcaklık farkı ne kadar yüksek olursa, fırın içindeki hava da o kadar genleşecektir. Bunun sonucunda yukarıya doğru bir hava akımı oluşacaktır.

Ağırlık etkisi ile fırının içinden geçerken eriyip şekil alan cam parçacıklar yeterli zamanın ve dengenin de etkisiyle şekillenmektedir. Kütlesi yeterli olmayan parçacıklar fırın içerisinden geçememiş, yeterli büyüklük deneyerek bulunmuştur. Parçacıkların büyüklüğüne göre de şekiller arasında farkların olduğu görülmüş olup, mikroskopla yapılan incelemede, partiküllerin küreselleşebildikleri gözlemlenmiştir. Aşağıdaki şekil 6.14 ‘de küreselleşme işleminden geçen 40-90 mikron boyut aralığındaki cam parçacıkları gösterilmektedir.



Şekil 6.14 Küreselleşme işlemine tabi tutulan ve kısmen küreselleşmiş 40-90 mikron boyutlarındaki cam partikülleri.

Küreselleştirmek amacıyla fırına gönderilen partiküllerin boyutları belirlendikten sonra, akış hızının belirlenmesi için çıkış delik çapı 0,9 mm kalınlığındaki seramik çubuk vasıtasıyla sisteme 75-150 mikron boyutlarındaki cam partikülleri gönderilmiştir. Elde edilen camlar yine mikroskop altında 50 x büyütmede incelenmiş ve çok az miktarda da olsa cam kürecik elde edildiği görülmüştür. Şekil 6.15’de elde edilen az miktardaki küresel camlar gösterilmektedir.



Şekil 6.15 Küreselleşme işlemine tabi tutulan ancak az miktarda küreselleşmiş 75-150 mikron boyutlarındaki cam partikülleri

Yapılan bu son çalışma göstermiştir ki, delik çapının artırılarak daha yüksek yoğunlukta cam partikülleri gönderildiği takdirde, ortamdan çektikleri ısı miktarı, sisteme gönderilen ısı miktarından daha fazla olmakta ve sistemin sıcaklığı hızla düşmektedir. Bu nedenle cam partiküllerinin 0,9 mm’lik delikten gönderilmesiyle oluşan küreselleşme miktarı, 0,5 mm çaplı delikten şarj edildikleri deneydeki miktardan daha azdır. Delik çapının yaklaşık iki kat azaltılması, kum akış debisini 3 kat kadar düşürmektedir. 0,9 mm ve 0,5 mm delikten akan cam partiküllerinin birikme hızı aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 6.1 75-150 mikron boyutlarındaki cam partiküllerinin birikme hızları.

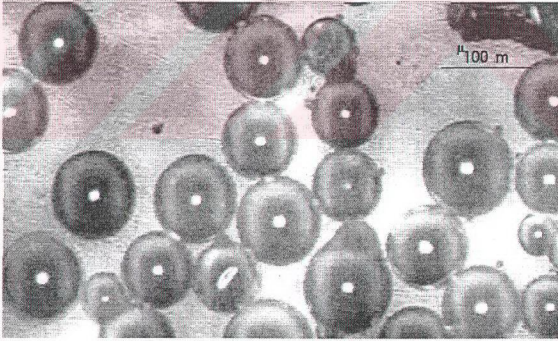
0,5 mm’lik delikten	0,9 mm’lik delikten
8,26 gr / dak	21.69 gr / dak

6.2.2 Küreselleştirme Deneyi

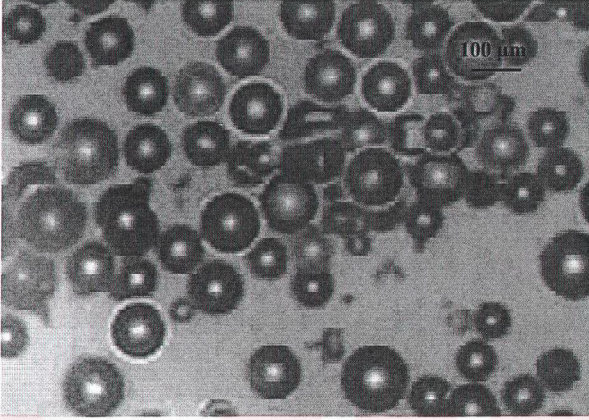
Yapılan bu deneyde küreselleştirme işlemi için sisteme gönderilen partiküllerin boyutları 75-100 mikron arasında tutulmuş, cam partiküllerinin çıkış delik çapı olarak 0,5 mm seçilmiştir. Daha büyük boyutlardaki partiküllerin küreselleştirilmesi için daha fazla ısı , birim zamanda sisteme gönderilmelidir .

Fırının sıcaklığı 1300 °C olduğunda, fırının üst kısmındaki delikten cam partikülleri sisteme gönderilmeye başlanmıştır.Cam partikülleri fırının içerisinden geçerken çok kısa bir süre için havada ergimişler ve yerçekiminin etkisiyle serbest düşüş yaparak , fırından çıkmalarıyla birlikte tekrar katı faza geçmişlerdir.

Havada serbest düşme sırasında kendi çevrelerinde dönmekte olan bu partiküller sıvı faza geçtikten sonra katılaşırken köşelerini kaybetmişler ve küresel şekil almışlardır. Şekil 6.16 ve 6.17 'de 75-100 mikron aralığındaki küreselleştirilmiş cam parçacıklarının resimleri gösterilmektedir.



Şekil 6.16 75-100 mikron aralığındaki küreselleştirilmiş cam parçacıkları .



Şekil 6.17 75-100 mikron aralığındaki küreselleştirilmiş cam parçacıkları .

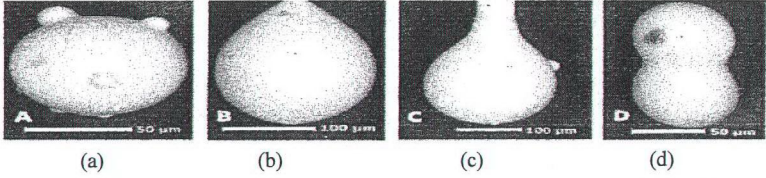
Cam partikülleri arasındaki boyut farklılıklar ne kadar az olursa, küreselleştirme işlemi sonrası elde edilen küreciklerin boyutları arasındaki fark da o kadar az olmaktadır. Bu şekilde elde edilen kürecikler daha homojen olmaktadır.

7. SONUÇ VE TARTIŞMA

Cam parçacıklarının küresel şekle dönüştürülerek endüstriyel kullanımlar için uygun bir malzeme haline getirilmesinde tercih edilen malzeme, kullanılacak makine donanım ve teçhizat ile gerekli ortamın sağlanması önemlidir. Optik özelliklerin öne çıktığı küresel camlarda en iyi sonucun alınabilmesi için camın etilip küreselleştirilmesidir. Ne varki cam parçacığın yüzey enerjisi ve element yapısı parçacık oluşumunun toz üretiminden farklı olmasını gerektirmektedir. Enerji tasarrufu ve düşük maliyet gibi etkenleri de dikkate alarak cam haline gelmiş malzemenin ve özellikle de atık olanları üretimde önemli bir tercih nedenidir. Eritilmiş camın dökülerek tozlaştırılması raslanan bir uygulama olmayıp üzerinde araştırma yapılmaya değer bir konudur. Bu çalışmada atık camlar hammadde olarak seçilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalarda cam kürecik üretiminin en önemli aşamasının, kırılmış yada öğütülmüş cam parçacıkların bir ısı kaynağı ile ısıtılıp küreselleşmesinin sağlanması olmuştur (Bonnenfant, D. , Suquet, P. ; 1995). Endüstriyel kullanımlar için aranan en önemli özellikler; küresellik, ışık yansıtması, geçirgenlik ve yüzeye nüfuziyet olup ticari öneme sahip bir malzemede en çok aranan kalite özellikleri bunların elde edilmesi ve belirlenen değerlerin teminindeki önemli özelliklerdir. Kara yollarında işaret amacıyla kullanılan malzemelerde kullanılacak olan cam parçacıklar; boyanın belirli bir miktarda içinde bulunmasıyla ışığı yansıtılma özelliğini sağlayacak en önemli parametre olup, cam parçacıklarının küresel şekilli, büyüklüğü ve optik özellikleri yol emniyeti ve güvenliği için tercih edilmektedir.

İdeal olarak geometrik şekil tamlığının üretilmiş olan cam parçacıklarında elde edilmesi mümkün olmayıp, küresel şekle en az %70 oranında yaklaşıma gereksinim duyulmaktadır. Küresel şekle yaklaşım oranı cam parçacığın botutuna göre de değişmektedir, küreciğin boyutu düştükçe yaklaşım oranı %80'lere kadar artırılmayı gerektirmektedir . Aşağıdaki şekil 7.1'de küreselleştirme işlemine tabi tutulmuş, ancak istenilen formu kazanamamış cam partikülleri gösterilmektedir.



Şekil 7.1 Küreselleştirme işlemi sonrası küresel şekil kazanamamış tanecikler ; a-Küresel yapıya dahil olamadan katılaştıran çıkıntılı parçacık formu ; b-Eksik küresellik formu; c-Damlacık formu; d-Fıçılama (Phalippou J.;2002) .

Şekil 7.1.a da bir küreciğin üzerinde beş tane küçük küreciğin yapıştığı görülmektedir . Akış hızının düzensiz olması , ergimenin tamamlanması nedeniyle farklı boyuttaki küreciklerin en büyük kürecik etrafında yapıştığını göstermektedir. Şekil 7.1 b’de ise yüksek sıcaklık etkisiyle küresel şekil tam oluşamamakta ve bozulmaktadır. Şekil 7.1 c’de ise sıcaklığın daha da yüksek olması küresel damlacığın akmasına neden olmaktadır. Şekil 7.1 d de ise eş boyutlu kürecikler birbiri ile yapışarak birleşmektedir. Bütün bu farklılıklara neden olabilecek bir çok neden tanımlanabilirse de bunların içinden en önemli olabilecekleri; sıcaklık değişimi, yapışma, akış hızındaki değişim, boyutların değişimi ve cam çeşiti olabilir. Bunları küreselleşmenin istenilen şekilde ortaya çıkmasını etkileyen başlıca değişkenler olarak ana başlıklar altında sıralarsak;

1. Sıcaklığın neden olduğu değişim,
2. Çarpışma ve yapışmanın neden olduğu değişim,
3. Akış hızının neden olduğu değişim,
4. Boyutun neden olduğu değişim,
5. Can malzemesinin neden olduğu değişim,

olarak sıralayabiliriz.

Birinci etken olarak cam parçacıklar tek bir boyutta olmadığından ergimeleri için gerekli enerji ihtiyacı da değişmektedir. Isıtma sisteminde elektriksel, gaz ve sıvı yakıtların verebileceği enerjinin bir gradyent etkisi olmaksızın cam parçacıklara ulaştırılabileceği bir fırın sistemini kurmak mümkün değildir. Parçacıklar önce düşük sıcaklık bölgesinden geçtikten sonra daha yüksek sıcaklık bölgesine ulaşırlar.

Yüksek sıcaklık bölgesinde erimiş ve küresel oluşumu tamamlamış parçacık şeklini koruyarak katılaştırılabilirse üretim başarılı olur. Bu koşul altında dahi parçacık boyutlarındaki değişim şekil farklılığı için yeterli bir neden oluşturmaktadır. Sıcaklık aralığı olarak camın eridiği aralığın sağlanması ve aralıktaki değişimin erime üzerindeki etkisinin sınırlı kalmasıyla küresel şekiller arasındaki farkın azalmasını sağlayabilecektir.

Yüksek yoğunlukta enerji içeren ışınlar, örneğin lazer ışınlar ve manyetik parçacıkların taşıdığı enerjilerin kullanılması boyutsal geçişimden kaynaklanacak farklılığın ortadan kaldırılmasında etkili bir teknik olabilir. Daha ileri bir araştırmada kullanılabilecek bu teknikler olası sorunların çözümü için bir öneri olarak algılanabilir. Tesis ve yatırım maliyetlerinin getirdiği finansal zorlukları ortadan kaldırmanın bir yolu olarak üretim kapasitesinin artırılması düşünülebilir. Küresel bağlamda ticaret ve üretim uygun talebin mevcudiyeti ile mümkündür.

Özellikle yol çizgi boyalarına katılmasıyla beraber son yıllarda cam küreciklerin ülkemizde de kullanım miktarlarında çok büyük artışlar olmuştur. Otoyollardaki yol çizgi boyaları dışında, kumlama sektöründe ve kompozit malzemelerin içerisine takviye elemanı olarak katılması bu malzemenin çeşitli ülkelerde kullanımını oldukça yaygınlaştırmıştır. Çizelge 7.1’de 1998 ile 2002 yılları arasındaki ithalat rakamları kilogram olarak tüketilen miktarı gösterilmektedir.

Çizelge 7.1 1 mm'den küçük boyutlu küresel camların ithalat miktarları (kg) olarak verilmektedir (Devlet İstatistik Enstitüsü, İstanbul) .

Ülke Adı	Yıllar				
	1998	1999	2000	2001	2002
FRANSA	36.291	14.003	7.285	3.260	4.800
BELCIKA	2.098.949	2.252.916	1.424.555	2.710.009	2.586.040
ALMANYA	20.874	58.239	112.341	87.737	114.596
ITALYA	19.854	16.850	14.827	28.837	14.300
INGiltere	361.615	410.550	241.754	40.000	502.031
İSPANYA	200.000	260.000	96.000	8.014	104.000
AVUSTURYA	56.600	140.826	96.420	311.576	244.644
ABD	5.954	6.288	796	228	242
CIN	0	400.45	22.250	50	21.050
HOLLANDA	0	0	19.458	10.750	26.030
NORVEÇ	0	0	2.000	0	400
İSVİÇRE	0	0	3400	0	0
GÜNEY KORE	0	0	0	100	0
TAYLAND	0	0	0	0	20.000
AVUSTRALYA	0	0	0	0	245
Toplam	2.800.137	3.199.717	2.101.086	3.217.361	3.111.092

Yukarıdaki tablodan da görülebileceği gibi dünyada birçok ülke tarafından kullanılan bu tür malzemenin ülkemizdeki kullanımı ile ilgili bir veri bulunamamıştır. Türkiye'de yeterli kullanım potansiyelinin olmaması üretim tesisinin kurulmasının önünde en büyük engeli oluşturmaktadır.

İkinci önemli etken eritilen parçacıkların birbirine çarpmalarının önlenememesidir. Parçacık boyutundaki değişim ağırlık farklılığına neden olmakta ve bütün parçacıkların aynı ağırlıkta olması sağlanamamaktadır. Yukarıda Şekil.6.8 de açıklandığı gibi sıvı cam parçacığın yüzey enerjisi, hacim enerjisi, potansiyel enerjisi, kinetik enerjisi ve bu enerjilerin dengelenememesi ya da bunları dengeleyecek bir üretim düzeneğinin sağlanamaması farklı zaman dilimlerinde şekillenmelerin olmasına neden olacaktır.

Bunun sonucu olarak da katılaşmasını tamamlamamış tanecik ile katılaşmasını tamamlamış tanecik birlikte bulunabilecekler ve bunun sonucu olarak da yapışma kaçınılmaz olarak ortaya çıkmaktadır. Bu yapışmanın önlenmesi için her bir taneciğin katılaşmasını sağlayacak bir sıcaklık gradyenti uygulanabilir. Bunun için de sistemin alt bölgesine bir soğutucunun konulması düşünülmelidir.

Cam parçacıklarının ısıtıcı ortama uygun aralıklarla akıtılması gözenekli bir elekten geçirilerek de yapılabilir. Ancak, ısı akımının etkisi bu yolun değişmesine ve serbest düşüşün olmamasına neden olacaktır. Akışın ısıtıcının orta bölgesinde ve bir yatak oluşturacak konumda olması gerekmektedir. Bu nedenle bir akışkan yatak da üretim için önerilebilir.

Üçüncü olarak cam parçacığın eritme bölgesine girişi ve çıkışı arasındaki kesit akış hızı üzerinde önemli etki yapmaktadır. Kısaca baca etkisi olarak isimlendirebileceğimiz bu etkinin ana nedeni üretimin yapıldığı ortamdaki hava ve bunun içindeki gazların çeşiti ve miktarları ile yoğunluklarının değişimini söyleyebiliriz. Üretim hızı ile de ilgili olan bu kesitin çok fazla artırılması küreselleşme üzerinde olumsuz etkiler yapacaktır. Büyük kesit düşük ergimeye neden olduğundan parçacıklar küreselleşemeyeceklerdir. Kesitin küçültülmesi ise akış hızını artıracak ve yine küreselleşmeyi engelleyecektir. Yaklaşık 30 mm lik çap laboratuvar koşullarında yapılan deneme üretiminde deneysel olarak elde edilmiştir. Üretim hızı, birim alanda bulunabilecek parçacık sayısı ve akış hızı arasındaki dengenin ayrıca araştırılması faydalı olacaktır.

Dördüncü olarak, boyutun elek analizi ile belirlenmesi bu tür parçacıkların yapısal özelliği gereğidir. Gerek kırma gereksede öğütmede camın kırılmalık etkisi nedeniyle farklı boyutların ortaya çıkması doğaldır. Boyutun küçük elek aralıkları kullanılmasıyla birbirine yakın hale getirilmesi mümkün olup en büyük tanecik ile en küçük tanecik arasındaki fark azaltılabilir. Şekil.6.8. de görüldüğü gibi 200 mikron ortalama tane boyutundaki parçacık miktarı en fazla olurken, çok düşük ve çok büyük parçacıkların miktarı azalmaktadır. Ağırlık tartım esasına göre yapılan ortalama tane boyutunun yada eşdeğer boyutun belirlendiği bu çalışmada küreselleştirme deneylerinde başarılı olunmuş ve bu aralıktaki boyutta 1200 °C sıcaklıkta başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Tane şeklinin mümkün olduğu kadar küresel şekle yakın kırılması da uygun boyutun belirlenmesi için gereklidir. Bu nedenle kırma yapıldıktan sonra ikinci bir öğütme işlemine gereksinim duyulmaktadır.

Beşinci olarak da camın çeşiti önemli olup, camın bileşimi önem kazanmaktadır. Bileşiminde % 72 SiO₂, % 0,6Al₂O₃, % 0,6Fe₂O₃, % 10CaO, % 2,5MgO ve % 14,2Na₂O,K₂O bulunan camlarlar cam kürecik üretimine uygundur. Kuvars miktarının artması olumlu etkiler yaparken, alumina ve miktarının artmasını olumsuz etkileri görülebilir. Kireç de akıcılığı sağladığından % 10 a kadar ilave edilmiştir. Sodyum ve potasyum bileşikleri de ergime sıcaklığının düşürülmesinde etkili olmaktadır.

Küreselliğin dışında üretim kalitesini etkileyen diğer bir özellik ise, küreciklerin içerdiği boşluklar ve partikül boyut dağılımının kontrollü olmasıdır. Bu boşlukların ortaya çıkardığı porozitenin %10'dan daha az olması ve boyut dağılımının homojen olması kullanım ömrünün belirlenmesinde en önemli özelliği oluşturmaktadır (Gordon; 1997) .

8. SONUÇLAR

Dünyada bir çok ülkede küresel cam parçacıklar yüzey işlemleri, kompozit dolgu maddesi ve çeşitli katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Boyutları 5 mikrondan 500 mikrona kadar olan çeşitli aralıklarda küresel camlar dünyada olduğu kadar ülkemizde de kullanılmaktadır. Başta kompozit malzemeler olmak üzere , yüzey işlem ve tıbbi alanlar gibi daha birçok alanda kullanılan bu malzemeler , özellikle dayanım/ağırlık oranına göre seçilmekte ve bu oranın artmasıyla daha çok kullanım alanı bulmaktadır. Cam parçacıkların küsel şekle getirilmesinde bir çok üretim yöntemi olup, bunlardan; alev mızrağı, plazma ark, sol-jel ve sprey metodları ile üretimler gerçekleştirilmiştir. Dirençle ısıtılan bir fırının içinden akıtılan cam parçacıklarının fırının içinde ergitildikten sonra katılaştırılmasıyla da yapılabileceği bu çalışmada ortaya konulmuştur.

Boyutu 50 mikrondan daha küçük olan küreciklerin 10 gram/dakakış hızında üretilmesine karşın , daha büyük boyutlarda daha düşük üretim hızına gereksinim duyulmakta ve üretime uygun hale getirilebilmektedir. Ancak daha yüksek kapasiteli bir fırın tasarlanması halinde üretim hızı da bir miktar artırılabilir. Fırın kapasitesi sadece hızla bağlı olmayıp;

- Sıcaklığa ve ısıtma hızına,
- Fırını besleyen akım, frekans ve gerilime,
- Kumanda ve kontrol düzeneğine,
- İzolasyon malzemelerine,
- Çarpışma ve yapışmanın önlenmesi için yeterli kesit alanı ve hacime,
- Akış hızı ile katılma hızının dengelenmesinin yapılmasına,
- Cam kırıklarının boyut değişimleri arasındaki farkı giderecek şekle sahip olmasına,
- Sıcaklık gradyentine,
- Ergitilecek camın cinsine,
- Camın bileşim ve özelliğine bağlıdır.

Elektrik dirençli fırın bu tasarım koşullarında küresel cam parçacık üretimine uygun hale getirilebilir.

Yapılan bu çalışmada kullanılan yöntem diğer yöntemlerdeki gibi küresel şekillerin elde edilmesini sağlamıştır. Çok küçük boyutlu cam parçacıklar, küresel şekilli malzeme üretimi için kullanılabilecek ve üretimi mümkün hale getirebilecektir. Burada önemli olan husus , cam parçacıkların her birinin fırın içinden geçerken ısı etkisiyle eriyerek sıvılaşması ve küresel şekil almasının sağlanmasıdır. Küresel şekil alan cam parçacıklar şekil farklılığı göstermeden havada soğumasına imkan sağlanması ile üretim sonuçlandırılmaktadır. Bu koşullar sağlanabildiği sürece cam kürecik üretebilmek mümkündür.



KAYNAKLAR

- Bessmertnyi, V. S.; Krokhin, V. P.; Lyashko, A. A.; Drizhd, N. A.; Shekhovtsova, Z. E., (2001), Production of Glass Microspheres Using the Plasma-Spraying Method; Glass And Ceramics C/C Of Steklo I Keramika 2001; VOL 58; PART 7/8 p.268, 2 p.
- Bica, I., (2000), Formation Of Glass Microspheres with Rotating Electrical Arc, West University Of Timisoara, Parvan No 4, Romania.
- Bonnenfant, D., Suquet, P., (1995), American Society of Mechanical Engineers, Applied Mechanics Division, AMD, v 216, Net Shape Processing of Powder Materials, p 9-18.
- Budov, V.V., (1993), Glass microbeads, their applications, properties, and composition ; Egorova,L.S.Steklo i Keramika, n7, Jul, p2-5.
- Budov, V.V., (1990), (D. I. Mendelev Inst of Chemical Technology) Glass and Ceramics (English translation of Steklo i Keramika), v 47, n 3-4, Nov, p 77-79.
- Carpenter, B. S., (1986), The Production Of Porous Glass Microspheres By The Nuclear Track Technique, Battle Creek , A.B.D .
- Carlson, K., (1998), Production Of Hollow Glass Microspheres From Amber Glass Frit, U.S.A.
- Castle, R. B., (1999), Fused Glassy Particulates Obtained By Flame Fusion, Minnesota Mining & Manufacturing, Minnesota ,U.S.A.
- Castle, R. B., (1999), Compositions Comprising Fused Particulates And Methods Of Making Them, Minnesota Mining & Manufacturing; Minnesota , U.S.A.
- Clamors, D.E. ; (1993), (Rhetech, Inc.) Property enhancement through glass micro sphere incorporation Proceedings of the 8th Polyolefines International Conference, p 565-571.
- Ding J.Y.; (1991); Preparation Of Silica Glass Microspheres By Sol-Gel Processing; Journal of Materials Research, v 6, n 1, p 168-174.
- Gordon Row; (1997), Tracking Particle Size Trends Using a Light Scattering Particle Size Analyzer ;American Laboratory, v 29, n 19, Sep, , p 34-35.
- Kuşhan, M.C.,Kazıhan K., (1997), Ultra Küçük Çaplı Cam Bilya Üretimi, 3.Mucitler Ve Araştırmacılar Haftası, Ankara.
- Koopman, M., G. Gouadec , K. Carlisle , K.K. Chawla , G. Gladysz ;(2003); Compression Testing Of Hollow Microspheres (Microballoons) To Obtain Mechanical Properties ; University of Alabama at Birmingham.
- Marini, F.,(2003);Natural Microtektites Versus Industrial Glass Beads:An Appraisal Of Contamination Problems,ENSG (Ecole Nationale Supérieure de Géologie),BP 40,54501 Vandoeuvre-les-Nancy cedex,France.
- Olson, D.W.,(2000),Abrasives,Manufactured,U.S.Geological Survey Publications5.1, 5.2 ,5.3.

Phalippou, J.; (2002); From Gel To Glass; Laboratoire Des Verres,UMR 5587;Institut Des Sciences De L'ingenieur De Montpellier;Universite Montpellier;France.

Staveley, J., (2002),Glass Baseline Report,C.M.C Merseyside U.K.

Toydemir, N., (1990), Cam Yapı Malzemeleri, s 5-54, İstanbul, Türkiye.

INTERNET KAYNAKLARI

[1] www.scirus.com

[2] www.sciencedirect.com



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	26.12.1978	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1990-1997	Üsküdar Anadolu Lisesi
Lisans	1997-2001	Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fak. Malzeme Ve Metalurji Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı Kurum

2003-Devam Ediyor Saykar Metalurji Ve Yüzey İşlem Ürünleri San.Tic
Ltd. Şti.

