



Cam Üretimi

SEKTÖREL UYGULAMA KILAVUZU
(TASLAK)

*Sanayiden Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Belirlenmesi ve Azaltılmasına Yönelik
Uygulamanın Kolaylaştırılmasının Sağlanması Projesi*

İçindekiler

1. GİRİŞ.....	1
2. CAM ÜRETİMİ	2
2.1. Birincil Üretim Prosesleri	2
2.1.1. Harman Hazırlama.....	3
2.1.2. Ergitme	5
2.1.3. Şartlandırma ve Şekillendirme	8
2.1.4. Tavlama	9
2.1.5. Kaplama ve Dekorlama	9
2.1.6. Kalite Kontrol ve Ambalajlama	9
2.1.7. Yardımcı Tesisler.....	10
2.2. İkincil Üretim Prosesleri.....	10
2.2.1. Ayna üretimi	10
2.2.2. Kaplamalı cam üretimi	10
2.2.3. Otomobil camı üretimi	11
2.3. Cam Elyaf Prosesi.....	12
2.3.1. Harman Hazırlama.....	12
2.3.2. Ergitme	12
2.3.3. Şekillendirme.....	12
2.3.4. Bağlayıcı Hazırlama	12
2.3.5. Direkt Kırpma	13
2.3.6. Elyaf İşleme	13
3. EMİSYON KAYNAKLARI	14
3.1. Ergitme Öncesi Oluşan Emisyonlar.....	14
3.2. Ergitmeden Kaynaklanan Emisyonlar	14
3.3. Şekillendirmeden Kaynaklanan Emisyonlar.....	15
3.4. Kaplamadan Kaynaklanan Emisyonlar	16
3.5. Ayna Üretimi Emisyonları	16
3.6. Cam Elyaf Üretimi Ergitme Harici Emisyonlar	16
3.7. Yardımcı Tesislere Ait Emisyonlar.....	16
4. EMİSYON KONTROL / AZALTIM/ TEKNİKLERİ	18
5. ÖLÇÜM VE İZLEME	19
6. KAYNAKLAR.....	20

1. GİRİŞ

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı için hazırlanan ve T.C. Kalkınma Bakanlığı tarafından desteklenen “Sanayiden Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Belirlenmesi ve Azaltılmasına Yönelik Uygulamanın Kolaylaştırılmasının Sağlanması Projesi” kapsamında hazırlanan bu Sektörel Uygulama Kılavuzları dizisi, sanayi tesislerindeki emisyon kaynaklarının ve bu kaynaklardan atmosfere verilen emisyonların belirlenmesi, emisyonların ölçümü ve izlenmesi ile bu emisyonların önlenmesi/azaltılması amacıyla ilgili sanayi tesisi çalışanları ve Bakanlık çalışanlarına yol gösterici olması amacıyla hazırlanmıştır. Bu kılavuzlarla;

- Bakanlık merkez ve taşra teşkilatları tarafından yürütülen tesis inceleme, kontrol ve denetim işlemlerinin kolaylaştırılması ve ülke çapında eş uygulamanın sağlanması,
- Sektördeki tesisler ile bunlara ölçüm hizmeti veren kurum ve kuruluşların ölçüm/izleme çalışmalarında uygulama birliğinin sağlanması,
- Tesislerin izin ve denetim süreçlerinde Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’na yapacakları beyanlarda veri kalitesinin yükseltilmesi,
- Tesislere emisyon azaltma ve kontrol çalışmalarında yardımcı olunması hedeflenmektedir.

Cam üretim sektörünü ele alan bu kılavuz kapsamında, öncelikle sektörde uygulamada olan süreçler ele alınmış, daha sonra bu süreçlerde emisyon oluşumuna neden olan kaynaklar belirlenmiş ve bu emisyonların ölçümü ve izlenmesi konusunda bilgiler sunulmuştur.

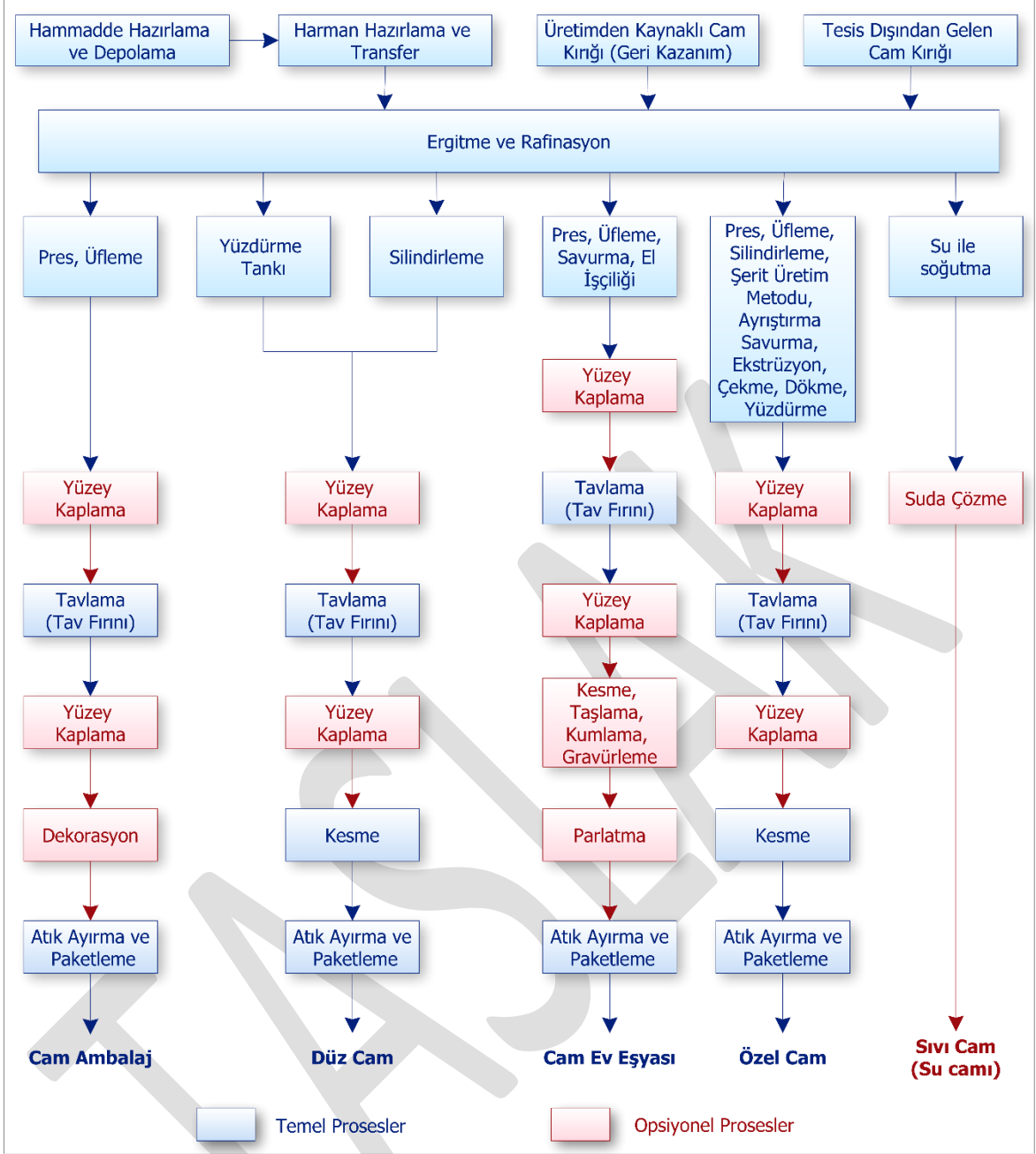
2. CAM ÜRETİMİ

Cam sektörü, ürünleriyle otomotiv, inşaat, beyaz eşya, gıda, meşrubat, ilaç, kozmetik, turizm gibi birçok sektöre girdi veren sanayi alanlarından biri olup sağladığı istihdam, üretim ve ihracat ile ulusal ekonomimiz için çok önemli bir konuma sahiptir. Yüksek sabit sermaye yatırımı gerektiren cam sanayiinde enerji kullanımı da yoğundur. Ölçek ekonomileri, yüksek kapasite ile çalışma zorunluluğu yaratmaktadır. Cam üretiminin izabe (eritme) teknolojisine dayalı olması, cam fırınlarının sürekli olarak faaliyette ve üretimin kesintisiz olmasını gerektirmektedir. Bu kesintisiz üretim ihtiyacı cam sanayiini hassas ve gözetilmesi gereken bir sektör kılmaktadır.

Cam sektörü üretim girdilerinin tamamına yakınına yurtiçinden sağlayan, sermaye ve enerji yoğun ve aynı zamanda yüksek kapasite kullanımı ile çalışma zorunluluğu olan bir sektördür. Cam üretiminde son ürünün özelliklerine göre üretim kademeleri farklılık göstermekte olup bazı işlemler tüm ürünler için zorunludur. Zorunlu olan bu birincil üretim prosesleri ve ürün tiplerine göre değişen ikincil üretim prosesleri aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

2.1. Birincil Üretim Prosesleri

Cam üretimi; harman hazırlama, iletim ve besleme, ergitme ve afinasyon (eriyikten çözülmüş gaz ve kabarcıkların uzaklaştırılması), şartlandırma ve şekillendirme, tavlama, kaplama ve dekorlama, kalite kontrol ve ambalajlama işlemlerinden oluşmaktadır. Cam üretimine yönelik genel proses akım şeması aşağıda verilmektedir.



Şekil 1. Cam üretimindeki birincil üretim proses akım şeması

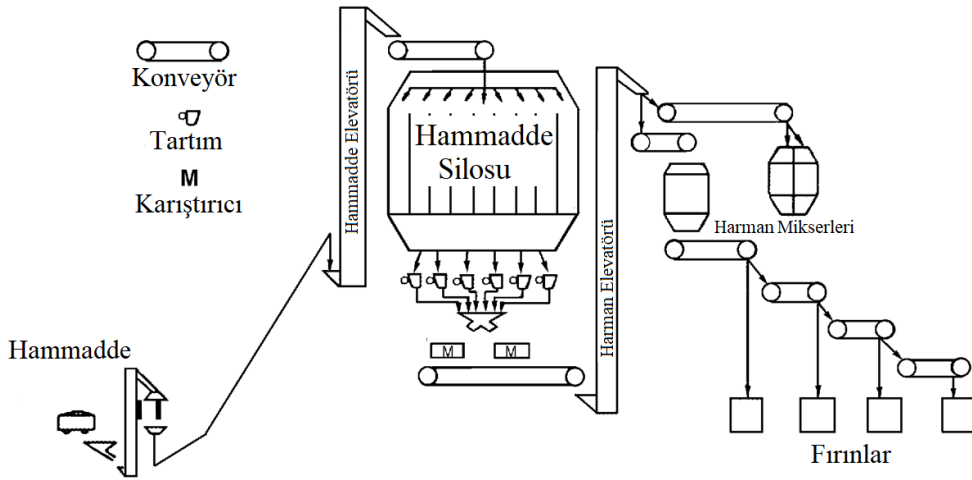
2.1.1. Harman Hazırlama

İyi ve etkin bir cam üretim prosesi için uygun hammadde seçimi esas olup, hammaddelerin cam üretimi için gerekli ihtiyaçlara göre hazırlanması ve optimum ergime ve şekillendirme sürecinin sağlanması gerekmektedir. Çeşitli hammaddelerin doğru oranlarda birbirleriyle karıştırılması sonucu oluşan karışıma, cam üretim terminolojisinde “harman” adı verilir. Harmanı oluşturan hammaddeler, genellikle çıkarıldıkları yerde ön işleme tabi tutulurlar ve kamyon, demiryolu veya gemilerle cam endüstrisine teslim edilirler. Kalite kriterlerine

uygunluğu belirlenen hammaddeler, kapalı ve sızdırmaz sistemler vasıtasıyla; muhafaza/depolanacağı edileceği harman silolarına nakledilir.

Cam kompozisyonu birçok cam özelliğini belirleyeceğinden hammaddelerin uygun kompozisyondaki camı sağlaması gerekmektedir. Fiziksel ve kimyasal analizleri yapılarak uygunluğu kabul edilmiş olan hammaddeler, kullanım miktarlarına bağlı olarak manyetik separatörlerden geçirildikten sonra pnömatik veya konveyör taşıyıcı sistemlerle tartım silolarına nakledilmektedir. Cam kompozisyonuna uygun miktarlarda tartılan hammaddeler konveyör bant sistemi ile homojen bir harman eldesi için karıştırıcı ünitesine (harman mikseri) gönderilmektedir. Partiler halinde karıştırılarak homojen hale getirilen harmana, mikser sonrası fırına hazır cam kırığı eklenir ve ardından cam fırınına (sürekli) beslenmek üzere, bantlı konveyörlerle fırın silolarına ve harman vericilere nakledilir. Harmanın taşıma esnasında ayrışmaması/tozumaması çok önemlidir. Bu nedenle harman nakliye yollarının tercihen olabildiğince kısa olması tercih edilmelidir. Harmana %3 – %4 oranında su ilave etmek suretiyle ayrışmaya (segregasyon) engel olunur. Harmanın işlendiği, tartıldığı ve taşındığı noktalarda toz emisyonu söz konusu olacağından tozuma kaynaklı emisyonları engelleyecek tedbirler alınmalıdır. Cam endüstrisinde kullanılan belli başlı hammaddeler kum, soda, dolomit, kalker, feldspat, sodyum sülfat, vb. olarak sıralanabilir.

Bunun yanında, cam üretiminde, “cam kırığı” olarak adlandırılan ve geri kazanılan ürün (dış cam kırığı; cam ambalaj alt sektöründe) ve geri döndürülen üretim firelerinden (iç cam kırığı) oluşan atık/artık camlar da kullanılmaktadır. Cam kırığının ergitilmesi için gerekli enerji miktarı; kimyasal reaksiyonların tamamlanmış olması ve eşdeğer ham maddelere oranla daha düşük kütleye sahip olması nedeniyle daha azdır. Bu nedenle harmanda cam kırığı kullanımı, ergitme fırınında yakıt kullanım oranını düşürerek enerji tasarrufu sağlamaktadır. Harmana eklenen her %10'luk cam kırığı, %2,5-3 oranında bir spesifik enerji tasarrufu sağlamaktadır.



Şekil 2. Hammadde hazırlama ve besleme adımına ilişkin şematik görünüm

2.1.2. Ergitme

Cam üretiminin şekillendirme ve sonrasındaki aşamaları üretilen cam türüne göre farklılıklar gösterse de, üretimin kalbi olan ergitme prosesi tüm cam türleri için aynı süreçlerden meydana gelir. Uygun fiziksel ve kimyasal özelliklerde karıştırılan harman, yüksek sıcaklıklarda (1400-1600 °C) gerçekleşen çeşitli fiziksel ve kimyasal reaksiyonlar sonucunda “ergimiş cam” haline getirilir (ergitme); çözülmüş gaz ve kabarcıklarından arındırılır (birincil afinasyon) ve sıcaklık/yoğunluk farklarından kaynaklanan akışlar sayesinde kimyasal olarak homojen (kimyasal homojenizasyon) hale getirilir. Bu esnada fırın atmosferinde, hammaddelerin dekompozisyonuna bağlı olarak su buharı ve diğer gaz formundaki kimyasalların çıkışı ve/veya kendi aralarındaki reaksiyonları meydana gelir.



Şekil 3. Fırın içerisindeki ergimiş camın görünümü

Ergitme işlemi, toplam enerji tüketimi içerisinde en yüksek enerji ihtiyacı duyulan üretim adımıdır. Cam endüstrisinde, fırınlarda ağırlıklı olarak doğal gaz, düşük kükürtlü fuel-oil, motorin ve sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) kullanılmaktadır. Elektrik enerjisi ise fosil yakıtlarla birlikte ikincil enerji kaynağı olarak kullanılmakla birlikte (toplam fırın enerji tüketiminin %5-20’si), birim maliyeti fosil yakıtlara oranla ucuz olan bölgelerde, teknoloji ve üretime bağlı olarak birincil enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Genel itibarıyla, (alt sektöre göre değişmekle birlikte) cam üretimindeki toplam enerjinin ortalama %75’lik kısmı, cam ergitme adımının gerçekleştirildiği cam fırınlarında tüketilmektedir.

Cam fırınları, içinde ergitmenin meydana geldiği; ısıya dayanıklı refrakter (tuğla) yapı ile bu refrakter yapıyı tutan çelik konstrüksiyon yapıdan oluşmakta olup, ergitme havuzu, fırın üst yapısı, ısı geri kazanım yapıları (rejeneratör ya da reküperatör) gibi temel bölümlerden oluşur.

Cam ergitme fırınlarının görevi, kaliteli ve en ekonomik şekilde harmanı ergiterek şekillendirme makinalarına verilmesini sağlamaktır. Cam fırınları genellikle 10-12 yıllık tipik bir kullanım ömrüne sahip olmakla birlikte, bu süre iyi işletim, bakım ve tutum ile bazı durumlarda 20 yıl ve üzerine çıkabilmektedir. Mevcut uygulamalarda cam fırınlarının kapasitesi 20-1000 ton/gün eriyik cam seviyeleri arasındadır.

Enerji kaynağı; ergitme teknolojisi ve ısı geri kazanım tekniği cam fırınlarının tasarımını belirleyen temel faktörlerdir. Üretilen cam miktarına, cam üretim tipine ve ekonomik (ve lojistik) faktörlere bağlı olarak farklı fırın tipleri ve tasarımları mevcuttur. Sektördeki temel cam fırın tasarımları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

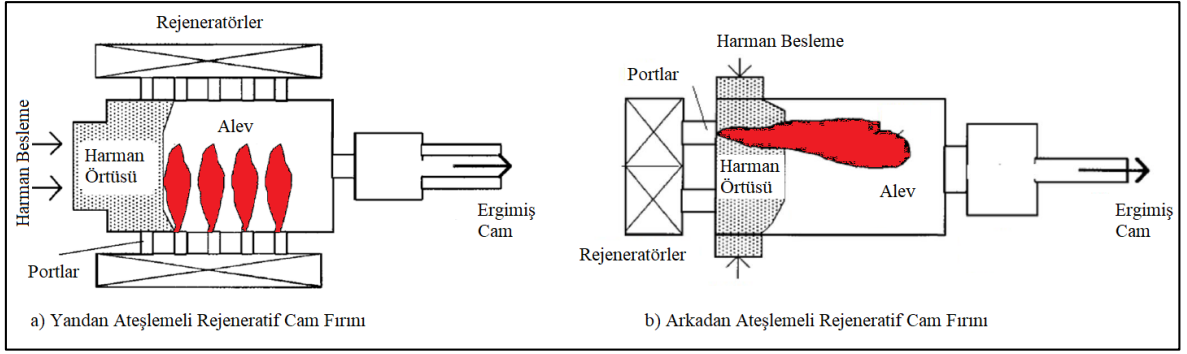
- Pota fırınları (kesikli üretim)
- Günlük fırınlar, tank fırınları (kesikli üretim)
- Reküperatif fırınlar
- Rejeneratif fırınlar (arkadan ya da yandan ateşlemeli)
- Oksi-yakıtlı fırınlar
- Tamamı elektrikli fırınlar

Pota ve tank fırınları genellikle küçük ölçekli, kesikli üretimler için kullanılırken, diğer fırın tasarımları, sürekli üretimlerin gerçekleştirildiği, cam ambalaj, düz cam, cam ev eşyası, cam elyaf ve cam yünü ve diğer bazı özel cam (cam seramik, aydınlatma tüpleri, vb.) türleri için kullanılmaktadır.

Sürekli üretim yapılan cam fırınında hammaddeler vidalı harman besleyici ile cam fırınına beslenir. Harman yayılarak, ergimiş camın üzerinde bir harman örtüsü oluşturur. Fırının port adı verilen kısımlarına yerleştirilmiş olan yakıt bekleriyle oluşturulan alev vasıtasıyla harman ve eriyik, hem aşağıdan (ergimiş cam) hem de yukarıdan fırın atmosferi yoluyla (bekler) ısıtılır.

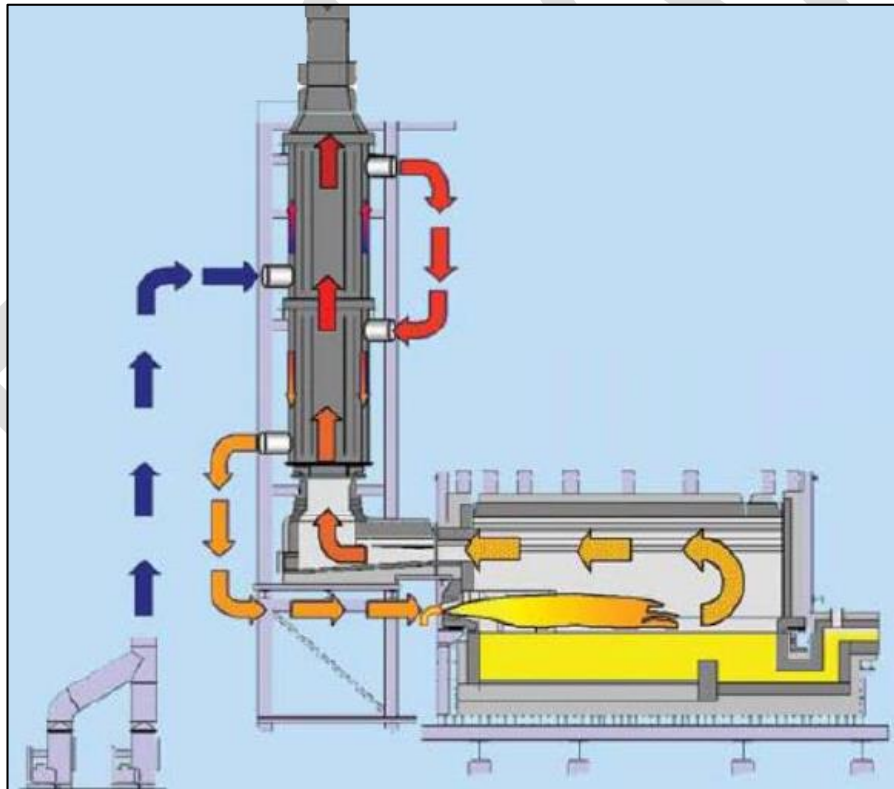
Sürekli üretim yapılan cam fırınlarında yakma havasının atık gazla ısıtılmasını sağlayan rejeneratif ve reküperatif sistem uygulamaları, fırının ısı verimliliğini artıran, dolayısıyla enerji tüketimini azaltan ve çoğu fırının ayrılmaz parçası haline gelmiş ısı değiştirici uygulamalarıdır. 1700–1850 °C civarında ihtiyaç duyulan alev sıcaklıklarını elde edebilmek için yakma havasının ön ısıtılması gereklidir. Fırına giren yakma havası, reküperatör veya rejeneratör olarak adlandırılan bu ısı değiştiriciler vasıtası ile ek bir yakıt tüketimi olmadan, yanma gazlarının sıcaklığı kullanılarak ön ısıtılmaktadır. Uygulanan sistemin türüne bağlı olarak cam fırınları rejeneratif veya reküperatif olarak adlandırılmaktadır.

Rejeneratörler, fırının iki tarafında konumlandırılmış ve içerisinde ısıyı tutabilen dolgu tuğlaları bulunan refrakter malzemeden yapılmış ısı geri kazanım yapılarıdır. Bu yapılar, baca gazlarının taşıdığı ısı enerjisinin yakma havasına aktararak enerjinin verimli kullanımı yönünde görev yapmaktadırlar. Dolgu tuğlaları ilk 20 dakikalık döngüde ısınarak, yüksek sıcaklıktaki baca gazının ısını hapsedmekte; ikinci 20 dakikalık döngüde alttan verilen ortam sıcaklığındaki yakma havasının 1200–1300 °C'ye kadar ısıtılmasını sağlamaktadır. Verimli rejeneratörlere sahip büyük kapasiteli cam fırınları, ön ısıtmasız fırınlara oranla %70–80 oranında yakıt tasarrufu elde edilebilmektedir.



Şekil 4. Rejeneratif türdeki cam fırınlarına ilişkin şematik görünüm

Rekuperatör ise yanma gazlarındaki ısının yakma havasına eş yönlü akım veya ters yönlü akım ile transfer edildiği ısı değiştiriciler olup, fırına bir kanal ile (port) bağlı olacak şekilde yerleştirilmektedir. Çoğu rekuperatör, krom nikel katkılı çelik (veya krom-nikel-alüminyum çelikler) gibi yüksek sıcaklığa dayanıklı malzemeden imal edilir. Fırın çoğunlukla her iki taraftan eş zamanlı yandan ateşlemelidir. Rekuperatif fırınlar bir ya da iki adet rekuperatör ile desteklenir.



Şekil 5. Rekuperatif türdeki cam fırınlarına ilişkin şematik görünüm

Genel olarak endüstrideki düz cam, cam ambalaj ve cam ev eşyası fırınları rejeneratif, cam elyaf fırınları ise rekuperatif olarak tasarlanmıştır. Bek (yakıt enjektörleri) yerleşimleri açısından düz cam fırınları yandan, cam ambalaj ve cam ev eşyası fırınları ise arkadan ateşlemelidirler.

Yakma havası (atmosfer havası) yerine yüksek saflıkta (>%90) oksijen kullanılan oksiyakıtlı (oxy-fuel) cam fırınları, sektörde kullanılan farklı bir fırın ergitme teknolojisidir. Bu tip fırınlarda reküperatif/rejeneratif ısı geri kazanım elemanları olmamakla birlikte, atık ısı ile reaktan (azot ve doğal gaz) ön ısıtmanın yapıldığı çalışmalar bulunmaktadır. Oksiyakıtlı fırınlar endüstride genel olarak cam elyaf ve özel cam türleri (kristalin ve borosilikat gibi) için tercih edilen teknolojilerdendir.

Elektrik enerjisi kullanımının, fosil yakıtlara göre; maliyet, kalite ve/veya çevresel açıdan daha avantajlı olduğu durumlarda tam elektrikli cam fırınları tercih edilebilmektedir. Tam elektrikli fırınlarda ergitme enerjisi, cama daldırılmış elektrotlar tarafından iletilmekte olup, sadece fırın ateşlenmesi sırasında ve acil durumlarda fosil yakıt kullanılmaktadır. Elektrikli fırınlar, cam yünü; özel cam, cam ev eşyası ve düşük üretim seviyelerinin olduğu parfüm şişesi üretimlerinde görülmektedir.

2.1.3. Şartlandırma ve Şekillendirme

Cam, ergitme süreci sonrası şekillendirme işlemi için gereken uygun sıcaklık seviyesine kadar (ergitme sıcaklığından 200–300 °C düşük) soğutulmaktadır. Şekillendirme işlemi için doğru sıcaklığın yakalanmasının önemi kadar, bu sıcaklığın sabit ve homojen olması da önemlidir. Şartlandırma olarak adlandırılan bu adımda, ergitilen cam, etkin bir biçimde soğutulmuş olarak şekillendirme işlemi için doğru cam viskozitesini sağlayan sıcaklığa ulaştırılır.

Çalışma/Dinlendirme havuzu, genellikle ergitme havuzunun bir parçası olup; ergitme prosesi ile az ya da çok bütünleşmiştir. Çalışma havuzlarına bağlı olan ve forehearth adı verilen refrakterden mamul kapalı profilli, çoklu kanal yapıları, ergitilmiş camı şekillendirme kısmına taşır. Düz cam (float) üretiminde ise forehearth yapısı yerine tek bir kanal bulunmaktadır.

Şartlandırılarak uygun sıcaklığa getirilen ergimiş cam, mamul şeklinin verileceği “şekillendirme” adımı ile iletir. Şekillendirme adımı, cam üretiminin alt sektör bazında farklılaştığı bir adımdır.

Cam Ambalaj ve cam ev eşyası üretimlerinde, şartlandırılmış cam eriyiği forehearth sonunda bulunan besleme mekanizması ile damlalar halinde kesilerek, camın kalıplara alınarak şekil verildiği basınçlı hava ile çalışan şekillendirme makinalarına iletir.

Float tekniği ile gerçekleştirilen düz cam üretiminde şekillendirme, kalay banyosu olarak adlandırılan ve içerisinde ergimiş kalay bulunan kapalı üniteye gerçekleştirilmektedir. 1000-1100 °C sıcaklıktaki ergimiş cam, içinde ergimiş kalay bulunan üniteye aktarılmakta olup spesifik yoğunluk farkından dolayı kalay üzerinde yüzmektedir. Camın istenilen genişlik ve kalınlıkta şekillendirilebilmesi, ünite yanlarındaki makineler ve çekiş hızı sayesinde sağlanmaktadır. Kalay ile banyo atmosferindeki oksijenin birleşip camda hata veren kalay oksit oluşumunun önlenmesi için kalay banyosu atmosfer azotu ile basınçlandırılmaktadır.

2.1.4. Tavlama

Tavlama, sıcak ürünün, ortam sıcaklığına kadar soğutulması sırasında, iç gerilmelerinin kabul edilebilir sınırlarına kadar indirildiği kısımdır. Cam normal olarak soğumaya bırakıldığında soğuma çok hızlı gerçekleşeceği için camı oluşturan moleküller çok düzensiz bir şekilde kalırlar, bu da camın içinde stres denilen gerilimler oluşturur. Bu gerilimler zamanla camın kırılmasına veya çatlamasına yol açabilir. Bunu önlemek adına şekillendirme sonrası üretilen ürünler, kontrollü bir şekilde soğutularak yüzey gerilmelerinin giderilmesi ve mekanik mukavemet kazanması için tavlama fırınları kullanılmaktadır. Tavlama fırınları üretim makinelerinde şekillendirilen sıcak ürünlere mukavemet sağlanması için sıcaklığın kontrollü ve kademeli olarak düşürüldüğü fırınlardır. Bu üniteye kullanılan fanlar da bir elektrik tüketim noktasıdır.

2.1.5. Kaplama ve Dekorlama

Cam ambalaj üretimlerinde ürün sıcak ve soğuk olmak üzere iki kez kaplama işlemine tabi tutulur. Sıcak kaplama, cam ambalaj kaplarındaki mikro çatlakları kapatarak basınç, darbe mukavemetini arttırmak ve soğuk kaplamanın cam üzerine daha iyi tutunmasını sağlamak için kullanılır. Şekillendirme sonrası şişeler üretim bandı üzerine verilir, tavlama sonrası önce sıcak kaplama işlemine tabi tutulur ve şişe yüzeyine ince (10 - 60 angstrom) bir metal oksit katman uygulanır. Sıcak kaplama 700-750 °C civarında yalnızca gövdeye uygulanır. Soğuk kaplama, şişelerin taşınma ve dolum hatları sırasında birbirlerine çarpmaları sonucu çizilmesini ve mukavemetinin bu nedenle düşmesini engellemek için yapılan işlemdir. Soğuk kaplamada uygulanan sıvı; polietilen ve reçine karışımı içeren ve insan sağlığına zarar vermeyen bir sıvıdır. Tavlama fırınından çıkan şişelerin üzerine 70–100 °C aralığında bir nozul vasıtasıyla tatbik edilir. Düz camın kaplanması işlemi, farklı ticari ürün elde edilmesine yönelik olduğundan; ikincil üretim proseslerinde anlatılmıştır.

Dekorlamanın temel amacı, şişe ve cam ev eşyası üretimlerinde cam yüzeylerine baskı ve dekor uygulaması ile beğeniyi arttırmaktır. Bu amaçla cam yüzeyine organik ve inorganik boya uygulaması yapılır. Boya, serigrafi, tampon baskı, giydirme, püskürtme, elektrostatik püskürtme, çatlatma gibi tekniklerle uygulanır.

2.1.6. Kalite Kontrol ve Ambalajlama

Tavlama/soğutmadan çıkan cam mamul, ilgili kalite kriterlerine göre elle ve/veya otomatik olarak fiziksel kalite kontrollerine tabi tutulur; istenmeyen ürünler hattan ayrılır. Kalite kontrol kriterlerini sağlayan ürünler, paketleme/ambalajlama adımının ardından ambara ve/veya sevkiyata gönderilir.

2.1.7. Yardımcı Tesisler

Cam üretim tesislerinde buhar kazanları, kompresörler, jeneratörler, teknolojik su hazırlama birimleri, kapalı çevrim su soğutma sistemleri gibi yardımcı tesisler yer almaktadır. Float yöntemi ile düz cam üretiminde ise ergimiş camın şekillendirildiği kalay banyosundaki, ergimiş kalayın okside olmasını önlemek için banyo atmosferi, inert bir atmosfer yaratmak için azot (N₂) ve oksijeni yakalaması için de hidrojen (H₂) gazı ile doyurulur. Hidrojen, doğal gazdan buhar reformasyonu (steam reforming) yöntemi ile üretilirken, azot ise kriyojenik hava ayrıştırma yöntemi ile üretilmektedir. Kimi tesiste azot ve hidrojen yerinde üretilirken, kimi tesiste tedarikçiden sağlanmaktadır.

2.2. İkincil Üretim Prosesleri

2.2.1. Ayna üretimi

Ayna hattına gelen düz cam, yüzeyindeki kir ve tozların arındırılması amacıyla yıkama işlemine tabi tutulur. Ardından uygulanan kimyasal parlatma ve durulama sonrası, yüzey aktifleştirme (metal kaplama) işlemi uygulanır. Yüzey aktifleştirme adımlarının amacı yüzeyin adhezyon özelliğinin artırılarak gümüşün yüzeye verimli şekilde yapışmasını sağlamaktır. Kaplama sonrası durularak, cama parlaklık veren gümüş kaplama adımına geçilir. Gümüşün, hava ile temasını önlemek ve sonraki adımda gelecek boyanın yapışmasını sağlamak amacıyla iki kat pasivatör uygulanır, kurutma ve soğutma sonrası yarı mamul birinci ve ikinci boyama ve doğal gazlı fırınlar ile kürlenme işlemleri sonrası soğutulmuş mamul halini alır. Soğutmadan çıkan aynanın görüntü yüzeyi yıkanıp, kurutularak markalamaya hazır duruma getirilir. Markalama işlemi ile üretimi biten ayna, ambara veya ambalaja gönderilerek üretim tamamlanır.

2.2.2. Kaplamalı cam üretimi

Cam yüzeyine tek veya çok katmanlı inorganik (yarı metal, ametal, çeşitli alaşımlar veya oksitler, nitrürler, karbürler gibi) ya da organik malzemelerin kaplanması ile camlara optik davranış ve estetiğin yanı sıra; güneş ve ısı kontrolü, mekanik ve kimyasal yüzey dayanımı ile hidrofobik/hidrofilik özellikler kazandırılır. Cam kaplama teknikleri, kaplama malzemesinin fazına göre püskürtme, daldırma, kimyasal ve fiziksel buhar biriktirme gibi yöntemlerle gerçekleştirilir. Kimyasal buhar biriktirme prosesinde sıcak mamul, konveyör üzerinde kimyasal buharına maruz bırakılır. Cam yüzeyinde meydana gelen reaksiyonlar sonucu kaplama malzemesinin cam yüzeyine tutunması sağlanır. Çözücü olarak alkol, taşıyıcı olarak hava, azot veya argon gazları kullanılır. İşlem esnasındaki artık/atık gazlar ortamdan alınarak arıtma tesisine gönderilir. Hat üzerinde (online) gerçekleştirilen üretim siparişe göre kesikli olarak gerçekleştirilir. Fiziksel buhar biriktirmede ise vakum ortamında buhar fazına dönüştürülen kaplama malzemesi, cam üzerinde biriktirilerek kaplamanın gerçekleştirilmesi sağlanır. Hat dışı (offline) kaplamada cam, giriş vakum dengeleme,

kaplama ve çıkış vakum dengeleme kabinlerine alınarak işlem gerçekleştirilir. Fiziksel buhar biriktirme tekniklerinden manyetik sıçratma yönteminde cam yüzeyine kaplanmak istenen hedef malzemesi gaz iyonları ile bombardımana tabi tutulmaktadır. Hedef malzemedeki koparılan atomlar plazma içerisinde geçerken iyonize olmakta ve taban malzemesi olan cam yüzeyine ilerlemektedir. Cama ulaşan iyonlar yüzey ile fiziksel bağlar yapmaktadır. Böylece kaplama cam yüzeyine biriktirilmektedir. Isı ve enerji kontrol camları için yaygın kullanılan bu teknikler dışında daldırarak kaplama ve yaş kimyasal biriktirme (ayna) uygulamaları da mevcuttur.

2.2.3. Otomobil camı üretimi

Lamine Cam Üretimi: İstenilen boyuta getirilmek üzere kesilen ve kenarları rodajlanan düz cam, yüzeyin temizlenmesi amacıyla demineralize su ile yıkandıktan sonra, elektrikli fırınlarda kurutulurken üzerindeki su uzaklaştırılır. Lamine üretimde bu aşamada camlar tozlama ünitesine taşınır. Yüksek bombeli camlar ise camda optik distorsiyon oluşmaması için tozlama yerine alkolleme ünitesine iletilir. Sonraki adımda emaye baskı tekniği kullanılarak marka/resistans baskısı yapılır (15-25 °C arasındaki işlem herhangi bir emisyon içermez). Cam üzerine yapılmış olan baskı 150-200 °C'de elektrikli ısıtıcılar ile kurutma fırınlarında kurutulduktan sonra elektrikli rezistanslı bükme fırınında 610-640 °C'de kademeli olarak ısıtılarak kalıp üzerinde bükülür. Bükülmüş cam, demineralize su ile yıkanarak cam tozu, kir vb. kirleticilerden arındırılır. Birleştirme kabineye gönderilen eş camlar arasında uygun ebatlarda kesilmiş polivinil butiral (PVB) serilerek cam-PVB kombinasyonu oluşturulur ve birleştirme fırınından geçirilerek içerisindeki havanın atılması sağlanır. Birleştirme fırınından çıkan camlar, rulolu preslerden geçirilir ve gelen cam çiftlerinin ayrılmasını engellemek için kenarlarına kimyasal sürülür. Camlar daha sonra otoklav içinde yüksek basınç ve sıcaklık altında tutularak iki cam arasındaki PVB saydam hale getirilir. Lamine camların görsel kontrolleri yapıldıktan sonra ambalajlanarak sevkiyata gönderilir.

Temperli Cam Üretimi: İstenilen boyuta getirilmek üzere kesilen ve kenarları rodajlanan düz cam, yüzeyin temizlenmesi amacıyla demineralize su ile yıkandıktan sonra, elektrikli fırınlarda kurutulurken üzerindeki su uzaklaştırılır. Sonraki adımda emaye baskı tekniği kullanılarak marka/resistans baskısı yapılır (15-25 °C arasındaki işlem herhangi bir emisyon içermez). Cam üzerine yapılmış olan baskı 150-200 °C'de elektrikli ısıtıcılar ile kurutma fırınlarında kurutulduktan sonra, rezistanslı fırınlarında 610-650 °C'de sıcaklığa kadar ısıtılan cam, basınçlı hava ile aniden soğutulurken temperlenir. Böylece gerilimi iç cidarlara hapsedilmiş olan temperli cam üretilmiş olur. Temper fırınında enerji kaynağı olarak elektrik kullanılmaktadır. Temper fırınından çıkan camlara rezistans klipleri lehimlenir ve görsel kontrolleri yapıldıktan sonra ambalajlanarak sevkiyata gönderilir.

2.3. Cam Elyaf Prosesi

Cam elyafı üretim prosesi sırasıyla harman hazırlama, ergitme, elyaf üretimi (elyaf sarma) ve elyaf işleme bölümlerinden oluşmaktadır. Harman hazırlama ve cam ergitme hemen hemen tüm alt sektörde aynı olduğundan bu alt sektörde tekrar edilmeyip farklılıklar verilmektedir.

2.3.1. Harman Hazırlama

Harman hazırlama adımı, diğer alt sektörlerle aynı adımları içermekte olup; cam kırığı yerine telef olarak adlandırılan elyaf fireleri harmana eklenmektedir.

2.3.2. Ergitme

Hammaddelerin belirli bir reçete dahilinde karıştırılması ile oluşturulan cam elyaf harmanı hazırlanarak fırına beslenir. Harmanın fırında ergitilmesi sonucu cam sıcaklığı 1550 °C'lere kadar çıkar ve camın homojen hale gelmesi sağlanır. Cam elyaf üretiminin genel özelliğine uygun olarak, üretim sürekli bir proses olarak gerçekleşmekte olup, camın ergitilmesi için reküperatif bir sistem kullanılmaktadır. Bu sistemde, fırında yanma sonucu oluşan atık gaz ısı geri kazanımı amacıyla reküperatör olarak tanımlanan metal bir ısı eşanjöründen geçirilerek atmosfere verilmektedir. Geri kazanılan ısı, fırın yakma havasının ön ısıtılması amacıyla kullanılmaktadır. Reküperatöre giren atık gaz sıcaklığı 1400 °C'lerden maksimum 950 °C'ye kadar düşürülürken, yakma amacıyla kullanılan atmosfer havası ise 700 °C'lere kadar ısıtılabilir. Ergimiş cam, fırın içinde ilerlerken daha düşük sıcaklıklarda şartlandırma işlemi de tamamlanır. 1300 °C'lerdeki cam, fırın sonundan, forehearth olarak adlandırılan kanallardan akıtılır.

2.3.3. Şekillendirme

Her forehearthın tabanında üzerinde çok sayıda delik bulunan bir çeşit elek bulunmaktadır. Platin ve rodyum alaşımli ve elektrik ısıtmalı olup, bushing olarak nitelenen bu eleklerden geçen cam yaklaşık 10-22 mikron çapında elyaflar halinde akıtılır. Suyla soğutulan cam elyafı üzerine bağlayıcı adı verilen çözelti rulolar vasıtasıyla uygulanır. Çeşitli organik bileşiklerin karışımından meydana gelen bu çözelti ile kaplanan elyafın dayanıklılığı artmakta ve daha sonra cam elyaf takviyeli plastik (CTP) üretiminde kullanılırken polyesterle bağ kurabilmektedir. Uygulanan bağlayıcının içeriği son ürünün türüne göre değişmektedir.

2.3.4. Bağlayıcı Hazırlama

Bağlayıcı cinsine göre, kullanılacak hammaddeler ve miktarları bağlayıcı formülasyonları ile belirlenmiştir. İstenen formülasyona uygun olarak, hammaddeler ve gerekli su, hazırlama kazanına boşaltılır ve burada karıştırma işlemi yapılır. Hazırlama kazanlarından pompalar

vasıtası ile servis tanklarına aktarılır. Tanklara gelen bağlayıcı, üretim devam ettiği sürece elyaf sarma bölümünde bulunan aplikatör tavasına basılır. Bağlayıcı uygulanmış olan elyaflar, ürün cinsine göre splitlere ayrılarak mihverlere sarılır. Mihverlere sarılan elyaf demetleri belirli bir ağırlığa ulaştıktan sonra makineden alınarak konveyör bant veya demet arabaları vasıtasıyla elyaf işleme bölümüne iletilir.

2.3.5. Direkt Kırpma

Elyaf sarma bölümüne dahil diğer bir üretim prosesi olan direkt kırpma üretimi ise, bushingten akan camın su ve bağlayıcı uygulandıktan sonra sarılmadan, direkt olarak kırpıcı makineye yönlendirilerek kırılması, kırılan elyafların bant vasıtasıyla peletleme makinasına taşınması, peletleme makinasından geçerek kurutucu fırına girmesi, kurutma fırınında kurutulması, elenmesi ve ürünün ambalajlanması aşamalarından oluşmaktadır. Peletleme makinasının görevi, tane boyutunu istenen seviyeye getirmek için belli bir açı ve titreşim uygulanarak kırılan elyafların birleşmesini sağlamaktır.

2.3.6. Elyaf İşleme

Cam elyafı ürün çeşitleri tek uçlu (direkt sarma) fitil, çok uçlu fitil, kırpma ve keçedir. Yaş demetler (kek), kek kurutma fırınlarında, tek uçlu (direkt sarma) fitil ise Radyo Frekans (RF) kurutma fırınlarında kurutulur. Kuruyan demetler, cinslerine göre tasnif edilir ve uç bulma işlemi uygulanır. Ucu bulunan demetler, ilgili üretim veya ambalaj kısmına konveyör bant veya demet arabaları ile transfer edilir. Fitil demetleri bobin olarak sarılır ve gerektiğinde anti-statik karışım uygulanır. Üretilen ve gerektiğinde RF fırınlarında kurutulan fitil bobinleri soğutulduktan sonra ambalajlanır. Kırpma demetleri sehpalara dizilir, çubuk ve kılavuzlardan geçirilerek kırılmaya hazır hale getirilir, üretim başlatılır. Kırpıcıdan geçerek istenen uzunlukta kırılan elyaf, makine altı sarsak sistemi ve hareketli bant ile kurutucuya dökülür. Burada kurutulan elyaf soğutucuya gelir. Elek ve manyetik detektörden geçtikten sonra dolum ağzına ulaşır. Manyetik detektörden geçen ürün ambalajlanır. Keçe demetleri sehpalara dizilir. Sehpadan kırpıcılara gelen elyaflar, kırpıcılar vasıtasıyla istenen boyda kırılır ve istenen birim alan ağırlığına göre taşıyıcı bant üzerine dökülür. Daha sonra ürün çeşidine göre üzerine toz veya sıvı bağlayıcı uygulanır. Taşıyıcı bant vasıtasıyla keçe fırınının içinden geçirilerek kurutulur. Fırından çıkan keçe preslenip istenen kalınlığa getirilirken aynı zamanda soğutulurak ortam sıcaklığına gelmesi sağlanır. İstenen ebatlarda kesilip sarılarak ambalajlanır.

3. EMİSYON KAYNAKLARI

Cam üretiminden kaynaklanan emisyonlar, çoğunlukla sıcak kısım olarak adlandırılan ergitme işlemi esnasında oluşmaktadır. Bu nedenle cam üretimi kaynaklı emisyonlar; (i) ergitme öncesi (harman hazırlama), (ii) ergitme ve (iii) ergitme sonrası olarak gruplandırılabilir.

3.1. Ergitme Öncesi Oluşan Emisyonlar

Ergitme öncesi hammaddelerin depolandığı, tartıldığı, karıştırıldığı ve ergitme fırınına beslendiği işlemler sırasında toz emisyonları oluşmaktadır.

3.2. Ergitmeden Kaynaklanan Emisyonlar

Cam üretiminde oluşan toplam emisyonların %85-90'ı ergitme prosesi kaynaklıdır. Ergitme adımı, camın ergitilmesi, afinasyonu ve şartlandırılmasını kapsar. Bu emisyonlar, cam fırını baca sistemleri ile atmosfere (ya da öncelikle arıtma sistemlerine) verilir. Söz konusu emisyonlar aşağıdaki gibi sıralanabilirler:

- toz
- azot oksitler (NO_x)
- kükürt oksitler (SO_x)
- inorganik klor ve flor (HCl ve HF)
- karbon monoksit (CO)
- özel toz emisyonları (As, Co, Ni, Se, Cr, Cd, Sb, Pb, Cu, Mn, V, Sn, vd.)

Ergitme prosesinde oluşan hava kirleticiler kaynaklarına göre aşağıda verilen üç başlıkta gruplandırılabilir:

- Yakıt ve yanma reaksiyonları ile SO₂, CO, NO_x,
- Ergimiş cam ve harman örtüsünden buharlaşma-yoğuşma ve taşınım mekanizmaları ile toz,
- Hammaddelerin ergimesine bağlı olarak yayılan gazlar (SO₂, HF ve HCl) ve özel toz emisyonları.

Genel olarak, cam fırınlarından kaynaklanan emisyonların seviyesi; tüketilen yakıt türüne, hammaddenin içeriğine ve geri dönüşüm yapılan camın payına (cam kırığı kullanım oranı) bağlı olarak değişebilmektedir.

Tipik bir soda kireç camı ergitme fırınından kaynaklanan katı partikülleri ergitilmiş cam yüzeyi ve fırın atmosferi arasında oluşan reaksiyonlar sonucunda, harman ve cam yüzeyinden gerçekleşen buharlaşmalardan kaynaklanır. Buharlaşma ürünleri, atık gazın soğuması esnasında gazın yapısındaki oluşan kimyasal reaksiyonlara bağlı olarak genellikle

partikül formunda (toz) yoğuşur. Toz oluşumundaki temel mekanizma olan (≥ 95) buharlaşmadan/yoğuşmadan başka, yakıttaki safsızlıklar ve harmandan taşınma mekanizmalarının da (< 5) etkisi vardır.

Baca gazlarında görülen kükürt oksitler, kükürt dioksit (SO_2) ve kükürt trioksit (SO_3) formunda bulunur ve SO_x şeklinde ifade edilir. Doğalgaz kullanılan cam fırınlarında yakıt kaynaklı kükürt oksit emisyonu bulunmaz. Bu nedenle, doğal gazlı cam fırınlarındaki birincil SO_x emisyonu kaynağı, cam harmanında kullanılan sülfatlı bileşenlerdir.

Cam fırınlarından kaynaklanan NO_x emisyonu atık gazlardaki azot oksit (~ 95 NO) ve azot dioksit (~ 5 NO_2) gazlarını içermekte olup, NO_2 eşdeğeri olarak ifade edilir. NO_x emisyonu, oluşum mekanizmalarına göre yakma havasındaki azot ve oksijenin termal etkiyle reaksiyona girmesiyle oluşan termal NO_x , harman bileşenleri içindeki azot bileşiklerinin reaksiyonu sonucu oluşan harman kaynaklı NO_x ve yakıtın bünyesinde bulunan azottan kaynaklı NO_x olarak üç temel grupta sıralanabilir.

Gaz halindeki inorganik klor ve flor emisyonları, hammadde içeriğindeki safsızlıklar, bazı cam türlerinde harmana ilave edilen Cl/F içerikli hammaddeler, harmana geri beslenen harman tozu ve harmana eklenen cam kırığı kaynaklı olarak ortaya çıkmaktadır.

Özel tozlar; hammadde, cam kırığı ve yakıt kaynaklı minör safsızlıklara bağlı olarak görülebilmektedir.

Yukarıdaki temel emisyonlar haricinde üretilen cam türlerine ve hammaddelere bağlı olarak bor, vb. emisyonları da sektörde görülen emisyonlardandır.

3.3. Şekillendirmeden Kaynaklanan Emisyonlar

Cam ambalaj üretiminin şekillendirme adımında, ergimiş camın kalıba yapışmasını engellemek amacıyla, organik esaslı endüstriyel yağlama sıvıları kullanılmaktadır. Ergimiş cam ve kalıp arasında bir film tabakası oluşturan bu sıvı, cam sıcaklığının halen yüksek seviyelerde olması nedeniyle kalıpla temas anında buharlaşmaktadır. Cam ev eşyasındaki şekillendirme adımları, ürüne ve üretime göre değişiklik gösterdiğinden, işletme bazında değerlendirilmelidir. Ancak ortak yönleri vurgulamak gerekirse; ağız yakma ve parlatmada kullanılan açık alevlerden kaynaklanan yanma gazları ve dekorasyon adımlarındaki (elektrikli) baskı ve boya kurutma fırınlarından kaynaklanan organik kaynaklı emisyonlar sıralanabilir. Şekillendirme adımındaki emisyonlar genellikle çalışma ortamına yayılmakta olup ortam hava kalitesini etkilemektedirler. Bu emisyonların toplanarak bir baca vasıtasıyla emisyon sınırlarını sağlayarak atmosfere verilmesi gerekir.

3.4. Kaplamadan Kaynaklanan Emisyonlar

Cam ambalaj üretiminde gerçekleştirilen sıcak kaplamada, ince metal oksit bir katman cam ürünlerin dış tarafına kaplanır. Kaplanan kimyasalın tamamına yakını, şişenin yüzey sıcaklığı nedeniyle bozunur. Ürün üzerinde ince bir katman oluşurken; metal oksit, HCl gibi inorganik bileşikler ile ve uçucu organik bileşikler açığa çıkabilir. Düz cam üretimi hat üstü kaplamalarda ürüne özel bileşenler kullanılmakta olup, kimyasallar çok çeşitli olabilmektedir. Genel olarak bu adımdan kaynaklanan emisyonlar metal oksitleri, organik kirleticileri ve ince partikülleri içerir. Hat dışı yapılan kaplamalar çoğu zaman düşük basınç altında çalışılan ve kapalı reaktörlerde gerçekleştirilir ve tipik olarak asidik gazlar (HCl, HF) ve ince partiküller içerir.

3.5. Ayna Üretimi Emisyonları

Temel olarak ayna üretiminde kullanılan kimyasal bileşenlere bağlı olarak; boya havalandırma ve kurutma adımlarından uçucu organik bileşikler (UOB) açığa çıkar.

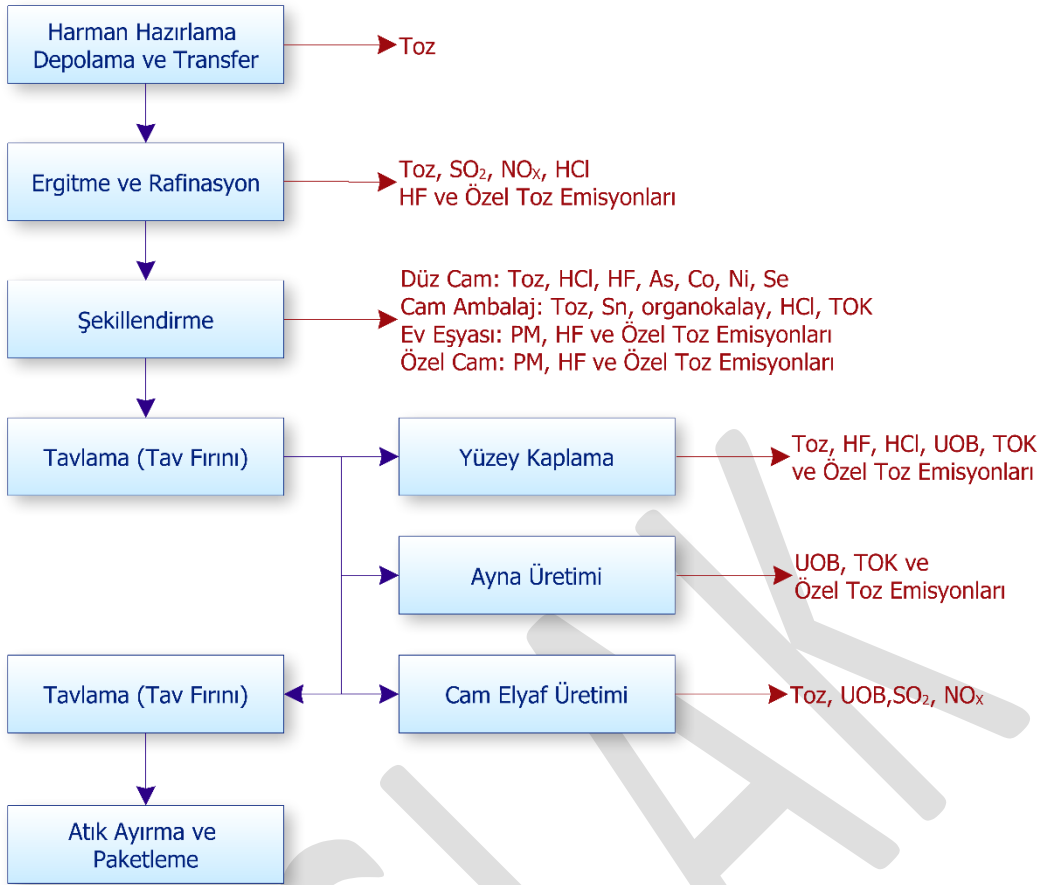
3.6. Cam Elyaf Üretimi Ergitme Harici Emisyonlar

Cam elyaf üretimi ergitme (fırın, forehearth) sonrası işlemlerden kaynaklanan emisyonlar, üretim teknolojisi, kullanılan birincil enerji kaynağı (fosil yakıt, elektrik), üretim skalası gibi adımlarla doğrudan ilişkilidir. Genel itibarıyla, bu ünitelerde oluşan kirleticiler toz, yanma gazları ve uçucu organik bileşiklerdir.

3.7. Yardımcı Tesislere Ait Emisyonlar

Buhar kazanlarından yanma gazları oluşmaktadır.

Şekil 6'da proses akım şeması üzerinde emisyon kaynakları ve kirleticiler verilmiştir.



Şekil 6. Cam üretim prosesi emisyon türleri ve kaynakları

4. EMİSYON KONTROL / AZALTIM/ TEKNİKLERİ

Cam ergitme işleminden kaynaklanan emisyonlar, proses veya hammadde bileşiminde değişiklikler yapmak suretiyle çevreye zarar veren maddelerin oluşumunu önleyecek olan birincil önlemler ve/veya baca gazı arıtımı gibi, kirleticilerin oluştuktan sonra atmosfere verilmeden önce ikincil önlemler kullanılarak da azaltılabilir. Birincil önlemler genel itibarıyla, hammadde, ürün ve üretim kaliteleri ile ilişkili olduğundan, sınırlı uygulama ve/veya azaltım sağlamaktadır. İkincil önlemler, emisyonlar oluştuktan sonra çeşitli teknikler ve teknolojiler kullanılarak bertaraf edilmesi prensibine dayanmaktadır.

Harmanın işlendiği, tartıldığı ve taşındığı noktalar ve ekipmanlar arasındaki her transfer noktası toz emisyonunu önlemek için iyi tasarlanmalı ve tozdan arındırma üniteleri gerekli noktalara doğru şekilde yerleştirilmelidir. Cam endüstrisi harman dairelerinde tozuma kaynaklı emisyonları engelleyecek tedbirler (toz toplama ve sonrasında uygulanabilecek siklon, filtrasyon, vb.) alınmalıdır. Bu adımlarda oluşabilecek olan tozuma, tozsuzlaştırma sistemleri ile önlenmekte; toplanan toz sisteme geri döndürülmektedir. Öte yandan harmana ilave edilen yüzde %3–4 oranında su da tozmayı önleyen faktörlerdendir.

Tablo 1. Cam üretim tesislerinde değişik aşamalarda oluşacak kirleticiler için emisyon kontrol ve azaltım teknikleri

Emisyon	Emisyon Kontrol ve Azaltım Teknikleri
Toz/Partikül	– Elektrostatik/mekanik filtrasyon
Azot Oksitler	– Uygun fırın tasarımı – Uygun işletme şartları ve yakma modifikasyonları – De-NO _x sistemleri (selective catalytic reduction, non-selective catalytic reduction, seramik filtre sistemleri)
Kükürt Oksitler	– Düşük kükürtlü yakıt tercih edilmesi – Desülfürizasyon prosesi
Hidrojen Klorür	– Islak/yarı kuru/kuru gaz arıtım prosesleri
Hidrojen Florür	– Islak/yarı kuru/kuru gaz arıtım prosesleri

5. ÖLÇÜM VE İZLEME

Cam üretim tesislerinde ölçülmesi ve izlenmesi gereken kirleticiler kaynaklarına göre Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Cam üretim tesislerinde emisyon kaynakları ve izlenecek kirleticiler

Emisyon kaynağı (Ölçüm noktası)	İzlenecek kirleticiler	İzleme periyodu	Sürekli izleme ¹
Buhar/kızgın yağ kazanı bacaları ²	Yakıt ve ısıl gücüne göre belirlenir.		
Fırın bacası	Toz, SO ₂ , NO _x , HCl, HF ve özel toz emisyonları ³ (As, Co, Ni, Se, Cr, Cd, Sb, Pb, Cu, Mn, V, Sn)	İzin + Periyodik	
Harman, cam kırığı toz emiş bacaları	Toz	İzin + Periyodik	
Fırın bacası (Düz cam)	Toz, SO ₂ , NO _x , HCl, HF, As, Co, Ni, Se	İzin + Periyodik	
Fırın bacası (Cam ambalaj)	Toz, SO ₂ , NO _x , Sn, organokalay, HCl, TOK	İzin + Periyodik	
Fırın bacası (Ev eşyası)	Toz, SO ₂ , NO _x , HF ve özel toz emisyonları ³ (As, Co, Ni, Se, Cr, Cd, Sb, Pb, Cu, Mn, V, Sn)	İzin + Periyodik	
Fırın bacası (Özel cam)	Toz, SO ₂ , NO _x , HF ve özel toz emisyonları ³	İzin + Periyodik	
Yüzey kaplama tavlama fırını bacası	HF, HCl, TOK ve özel toz emisyonları ³ (As, Co, Ni, Se, Cr, Cd, Sb, Pb, Cu, Mn, V, Sn)	İzin + Periyodik	
Ayna üretimi tavlama fırını bacası	TOK ve özel toz emisyonları ³ (As, Co, Ni, Se, Cr, Cd, Sb, Pb, Cu, Mn, V, Sn)	İzin + Periyodik	
Cam elyaf üretimi tavlama fırını bacası	SO ₂ , NO _x , TOK ve özel toz emisyonları ³ (As, Co, Ni, Se, Cr, Cd, Sb, Pb, Cu, Mn, V, Sn)	İzin + Periyodik	

¹ EK-4’deki hükümlere de bakılmalıdır.

² EK-1A hükümleri uygulanır.

³ Kullanılan hammadde ve katkılara göre EK-2 Tablo 2.1.1’deki özel maddelere bakılır.

6. KAYNAKLAR

- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2009. Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği.
- IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control), 2013. JRC Reference Report Best Available Techniques (BAT) Reference Document for The Manufacture of Glass, Industrial Emissions Directive 2010/75/EU, Spain.
- Sector Guidance Note IPPC SG 2 Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), 2006. Secretary of State's Guidance for A2 Activities in the Glassmaking Sector
- TA LUFT, 2002. "Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit", Almanya Hava Kirliliği Kontrolü Teknik Talimatnamesi - TA Luft.
- USEPA, 1995. AP-42: Compilation of Air Emissions Factors.