



Entegre Alüminyum Üretimi

SEKTÖREL UYGULAMA KILAVUZU
(TASLAK)

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

İçindekiler

1. GİRİŞ.....	1
2. ENTEGRE ALÜMİNYUM ÜRETİM PROSESİ	2
2.1. Alümina Üretim Tesisi.....	2
2.2. Ham (sıvı) Alüminyum Üretim Tesisi	5
2.3. Dökümhane Tesisi.....	7
2.4. Haddehane Tesisi.....	8
2.5. Yardımcı Tesisler	9
3. EMİSYON KAYNAKLARI	10
3.1. Alümina Üretim Tesisi Emisyonları.....	11
3.2. Sıvı (Ham) Alüminyum Üretim Tesisi Emisyonları	12
3.3. Dökümhane Emisyonları.....	13
3.4. Haddehane Emisyonları.....	13
4. EMİSYON AZALTIM/KONTROL TEKNİKLERİ.....	13
5. ÖLÇÜM VE İZLEME.....	15
6. KAYNAKLAR.....	16

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.

Zenginleştirilmiş cevherden alüminyum üretimi yapan entegre tesisleri ele alan bu kılavuz kapsamında, öncelikle sektörde yaygın olarak kullanılan üretim süreçleri tanıtılmış, daha sonra bu süreçlerde emisyon oluşumuna neden olan kaynaklar belirlenmiş, emisyonların ölçümü ve izlenmesi ile emisyon azaltım teknikleri konusunda bilgiler verilmiştir.

2. ENTEGRE ALÜMİNYUM ÜRETİM PROSESİ

Entegre alüminyum üretim tesislerinin temel hammaddesi maden sahalarından gelen boksit cevheridir. Boksit madeninde cevher, hidrat ünitesinde kimyasal işleme tabi tutularak alüminyum hidroksit (hidrat) elde edilir. Hidrat, kalsine edilmek üzere kalsinasyon fırınlarına gönderilir. Bu fırınlarda kurutulan hidrat ile Alümina üretilir. Alüminanın tamamı elektroliz ünitesinde işleme tabi tutularak alüminyum ürünü elde edilir. Oluşan ham alüminyum potalar yardımıyla dökümhaneye gönderilerek alaşım elementi, hurda ve alüminyum külçe eklenerek döküm kalıplarında alaşımlı/alaşımsız döküm ürünleri üretimi yapılır.

Oluşan hidratın bir kısmı kurutularak kuru hidrat veya öğütülmüş hidrat olarak da satılabilir.

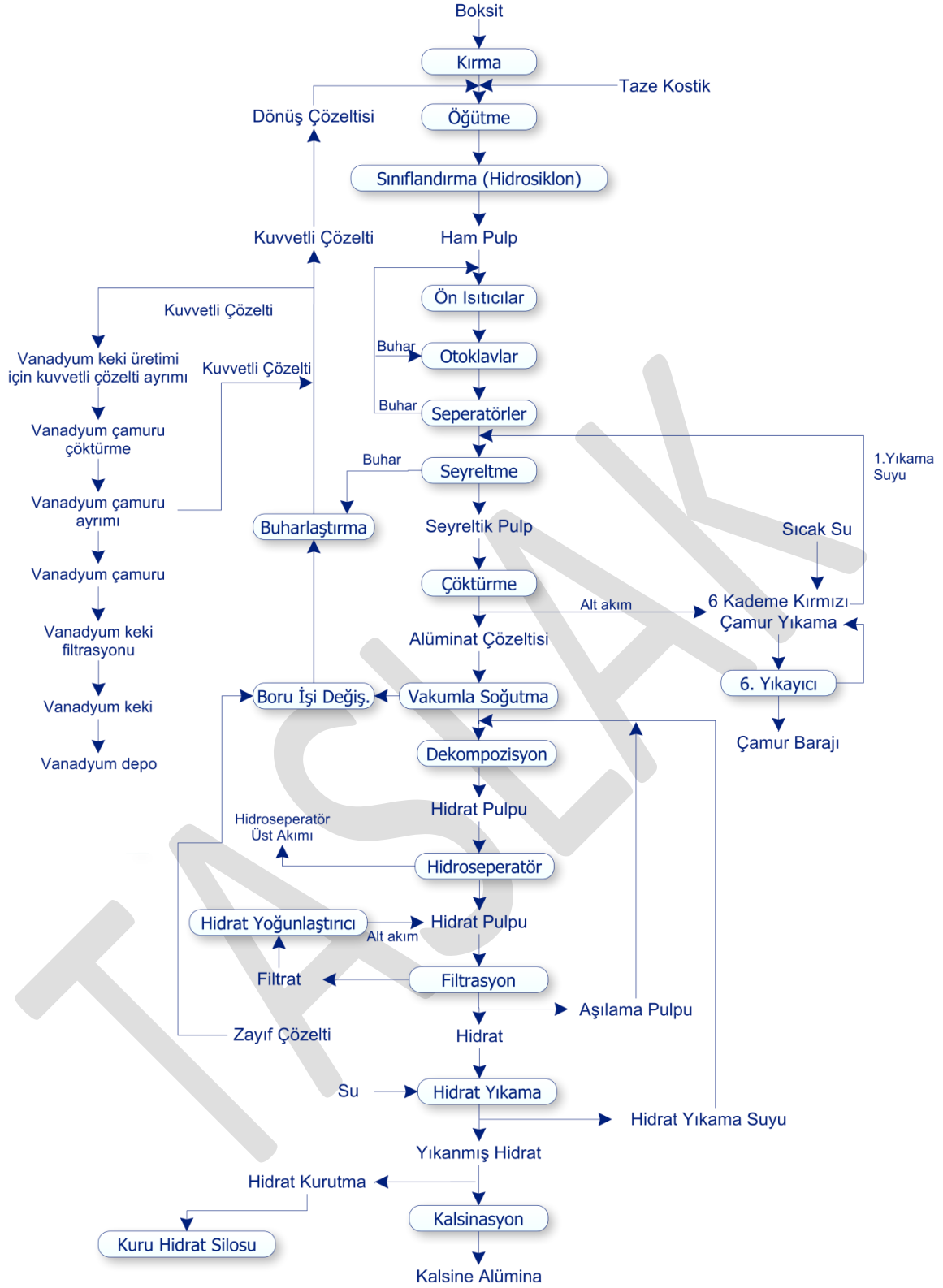
Entegre alüminyum üretiminde aşağıda yer alan tesisler bulunmaktadır:

- Maden İşletmesi
- Alümina Üretimi
- Alüminyum Üretimi
- Anot Üretim ve Rodlama
- Dökümhane
- Haddehane

Yukarıda bahsedilen tüm prosesler aşağıda alt başlıklar halinde açıklanmıştır. Temel proses endüstri genelinde standart olmasına rağmen, üretim prosesi içinde özellikle ham çamur üretimine kadar olan bölümde ve kalsinatörlerde kullanılan ekipmanlarda farklılıklar vardır.

2.1. Alümina Üretim Tesis

Boksitten alümina (Al_2O_3) eldesi, maden açık işletmesinden gelen boksit cevherinin, Bayer Metodu ile işlenmesi esasına dayanır. Boksit ilk olarak çekiçli kırıcılarda belirli partikül boyutuna indirilir, sonra bilyalı değirmenlerde kostik çözeltisi (NaOH) ile yaş öğütme işlemine tabi tutulur. Uygun boyuta getirilen boksit; otoklavlarda, yüksek sıcaklık ve basınç altında kostik çözeltisi ile reaksiyona sokularak çözelti haline getirilir. Elde edilen sodyum alüminat çözeltisi, çöktürme ve filtreleme işlemlerinden geçirilerek çözünmeyip katı fazda kalan yabancı maddelerden ayrılır. Kırmızı çamur adı verilen katı faz çöktürme ve yıkama işlemlerinden sonra atık barajına gönderilir. Kalan berrak sodyum alüminat çözeltisi dekompozörlerde hidroliz edilerek alüminyum hidroksit ($Al(OH)_3$) kristalleri halinde çöktürülür. Alüminyum hidroksit, kalsine edilerek alüminaya dönüştürülür. Altı aşamada gerçekleşen alümina üretimi iş akış şeması Şekil 1’de verilmiş, aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır:



Şekil 1. Alümina üretimi akış şeması

Hammadde Hazırlama: Açık ocaklardan gelen boksit stok sahasında panolarda stoklanır. Bayer Prosesinde işlenecek boksit cevherinin silis modülü (boksit cevherinin kimyasal analizindeki $\%Al_2O_3$ 'ün $\%SiO_2$ 'ye ağırlıkça oranı) 7-8 aralığında olacak şekilde ayarlanır.

Fabrikaya gelen boksit, elekten geçirilerek çekicili kırıcı ile boyutu 25 mm altına kırılır. Kırılan boksit, buharlaştırma bölümünden gelen kuvvetli çözelti ve kayıpları karşılayacak miktarda dışarıdan ilave edilen taze kostik ile birlikte bilyalı değirmen öğütme devresine beslenir.

Hammadde hazırlama bölümünden gelen hamur halindeki malzeme ön ısıtma işlemine tabi tutulduktan sonra basınçlı-pistonlu pompalar yardımıyla otoklava gönderilir. Otoklavda yüksek basınç ve sıcaklık altında boksitin bünyesindeki Al_2O_3 sıvı faza geçer. Atmosferik şartlara indirgenen hamur daha sonra seyreltme ünitesine gönderilir. Seyreltilen hamur, çöktürme tankında sıvı katı ayırımına tabi tutulur. Elde edilen üst akım sodyum alüminat çözeltisi kontrol filtrelerine gönderilerek süzülür. Süzülen sodyum alüminat ($NaAlO_2$) çözeltisi Dekompozisyon ve Hidrat Bölümüne gönderilir. Alt kısımda kalan kırmızı çamur yıkama işleminden geçirildikten sonra atık barajında stoklanır.

Dekompozisyon ve hidrat bölümü, sodyum alüminat ($NaAlO_2$) çözeltisinden hidroliz edilerek alüminyum hidroksit [Hidrat- $Al(OH)_3$] elde edilmektedir. Bu bölüm; plakalı ve borulu ısı değiştiriciler, vakumlu soğutucular, barometrik kondenserler, vakum filtreleri, pan filtre, dekompozörler, hidrosiklonlar, hidroseparatorler ve çöktürme havuzlarını içermektedir.

Sodyum alüminat çözeltisi vakumlu soğutucular veya plakalı eşanjörler vasıtası ile soğutulur (elde edilen buhar-ısı enerjisi ile zayıf çözelti ısıtılır). Elde edilen soğutulmuş alüminat çözeltisi ince aşı ile birlikte ince aşı dekompozörüne beslenir. Dekompozörde ince aşı filtresinden elde edilen ince aşı alüminat çözeltisi ile karıştırılarak hidrat hamuru elde edilir ve tane büyütme işlemi gerçekleştirilir. Büyük tane boyutlu hidrat hamuru, kalın aşı dekompozörlerinde kademeli olarak soğutularak hidroliz reaksiyonu gerçekleştirilir ve hidroseparatorlere aktarılır. Burada hidrat hamuru ince ve kalın tane boyutu ayırımına tabi tutulur. Elde edilen kalın taneli hidrat hamuru üretim filtresine, ince taneli hidrat hamuru ise hidroseparatorlere gönderilir. Hidroseparatorlerde hem tane boyutu hem de katı sıvı ayırımı gerçekleşir. Elde edilen kalın taneli ve yüksek katı içeriği olan hamur kalın aşı filtresine, ince ve düşük katı içeriğine sahip hidrat hamuru ise çöktürme havuzuna gönderilir. Çöktürme havuzunda düşük katı içeriği ve ince tane boyutlu hidrat hamuru sıvı katı ayırımına tabi tutulur. Elde edilen sıvı buharlaştırma bölümüne, ince taneli hidrat hamuru ise ince aşı filtresine gönderilir. Hidroseparatorden elde edilen kalın taneli ve yüksek kaliteli hidrat hamuru katı sıvı ayırımına tabi tutulur. Elde edilen katı, sıcak kondensat ile ters yıkama prensibine göre üç kademede yıkanır. Yıkanmış üretim keki kalsinasyon bölümüne gönderilir. Kalan sıvı kısım (zayıf çözelti) buharlaştırma bölümüne gönderilir.

Buharlaştırma: Dekompozör ve Hidrat Bölümünden gelen zayıf çözelti buharlaştırma bataryalarında suyu uçurularak kostik konsantrasyonunun artırılması sağlanmakta ve üretilen kuvvetli çözelti hammadde hazırlama bölümü dönüş çözeltisi tanklarına gönderilmektedir. Zayıf çözeltinin kuvvetli çözeltiye dönüştürülmesi ile açığa çıkan kondensat, Bayer döngüsünde sürekli olarak sisteme gönderilir. Kuvvetli çözeltinin içinde

bulunan vanadyum çözelti içinden uzaklaştırılması için kuvvetli çözeltinin bir kısmı çöktürme havuzuna alınarak burada soğutulur ve vanadyumun çökmesi sağlanır. Burada biriken vanadyum keki üretim filtrelerinde filtrelenerek vanadyum keki üretimi yapılır.

Kalsinasyon: Dekompozisyon ve Hidrat bölümünden alınan hidrat, döner fırınlarda kalsine edilerek, bünyesindeki fiziksel ve kimyasal su uçurulur. Kalsinasyon sonucu elde edilen kalsine alümina döner soğutuculardan geçirilerek sıcaklığı düşürülüp pnomatik pompalar ile elektroliz veya ticari siloya gönderilir.

Kurutma Öğütme: Dekompozisyon ve hidrat bölümünden alınan hidratın bir kısmı kurutucuda kurutularak, bünyesindeki fiziksel su uçurulur. Kurutma sonucu elde edilen kuru hidrat, ya satış için torbalama silolarına aktarılır ya da tane boyutu inceltmek üzere öğütücü besleme silosuna gönderilir.

2.2. Ham (Sıvı) Alüminyum Üretim Tesisi

Hidratın kalsinasyon işleminden geçmesinden sonra elde edilen alümina ile anot pasta, elektrolizhaneye ilave edilir ve sıvı alüminyum üretilmiş olur. Bu amaçla alümina ünitesinde boksit cevherinden ara ürün olarak elde edilen hidrat ve kalsinasyon işleminin sonrasında üretilen alümina elektrolizhaneye gönderilmektedir.

Alüminyum, birincil olarak erimiş sodyum alüminyum florit banyosunda yaklaşık 960 °C'lik bir sıcaklıkta, çözülen alüminyum oksidin (alümin) elektrolitik indirgemesi ile birincil malzemelerden üretilir.

Elektrolitik hücreler dikdörtgen çelik bir kabın içinde refrakter tuğlalarla yalıtılmış bir karbon katot ve elektrik iletken bir anod demetinden oluşmuş bir karbon anod içerir. Hücreler bir elektrik redüksiyon hattı oluşturmak üzere seri bağlanır. Doğrudan bir akım sırasıyla bir karbon anotta, banyoya, katoda ve bundan sonra bir elektrik gücü dağıtım hattı ile bir sonraki hücreye geçirilir. Erimiş banyoda %2-6 arasında bir alüminyum içeriği muhafaza etmek için hücrelere alümina eklenir. Florür bileşikleri, hücrelerin daha düşük bir sıcaklıkta çalıştırılmasını sağlayan banyo erime noktasını düşürmek için eklenir.

Sıvı alüminyum, katottaki hücrenin tabanında biriktirilir ve karbon dioksit oluşturmak için oksijen karbon anoduyla birleştirilir. Karbon anotları bu nedenle süreç boyunca sürekli olarak tüketilir.

Elektrik hücre sistemleri, anot türüne ve alümin besleme yöntemine göre değişmektedir. Soderberg ve Prebaked yöntemleri elektroliz prosesinde kullanılan anotların üretiminde kullanılan iki farklı yöntemdir.

Soderberg anotları, elektroliz hücresinde kalsine edilmiş petrol koku ve kömür katranı karışımından (macun), erimiş banyodan kaynaklanan ısı ile pişirilerek üretilmektedir.

Elektrik akımı iletken civatalar ile Soderberg anotlarına beslenir. Elektroliz sırasında anotların kullanımı sonucunda tükenmeleri nedeni ile yenilenmesi gerekmektedir. Soderberg prosesinde; anot tüketildiğinde, daha fazla macun anot kabuğuna doğru iner ve böylece anotların değiştirilmesini gerektirmeyen bir işlem sağlar. Alümina, alümin kabuğunu kırarak yapılan delikler ve erimiş banyoyu kaplayan donmuş elektrolit sayesinde Soderberg hücrelerine periyodik olarak ilave edilir. Gaz toplama için anot gövdesinin alt kısmına bir gaz eteği bulunur. Yüksek oranda katran ve PAH içeren bu gazlar toplanarak brülörlerde yakılır. Havalandırma gazları da toplanarak bir gaz arıtım sisteminden geçirildikten sonra atmosfere verilir.

Prebaked anotlar, kalsine edilmiş petrol koku ve kömür katranı tanesi karışımından üretilir, blok halinde oluşturulur ve ayrı bir anot fırınında pişirilir. Anot pişirme fırınlarında yaş anot, uçuculardan kurtulmak ve mukavemetini artırmak için 1100-1120 °C arasında pişirilir. Fırından çıkan anotun hücrelerde kullanılması amacıyla alüminyum bar ve döküm yoluyla pik çatala birleştirilir, bu işlemine rodlama denilmektedir. Anotlar, anot demetlerine tutturulan askı çubukları vasıtasıyla hücrelere asılır ve elektrik iletkeni de görevi görür. Anotlar tüketildikçe kademeli olarak alçaltılır ve çubuklar ergimiş banyolar tarafından saldırılmadan önce değiştirilir. Anod izmaritleri olarak bilinen anotların kalıntıları banyo malzemesinden temizlenir ve anot üretim prosesinde geri dönüştürülür.

Hücrelerdeki sıvı alüminyum vakumlama vasıtası ile potalara alınarak dökümhane ünitesine gönderilir. Sıvı alümina üretim prosesi akışı Şekil 2’de verilmiştir.

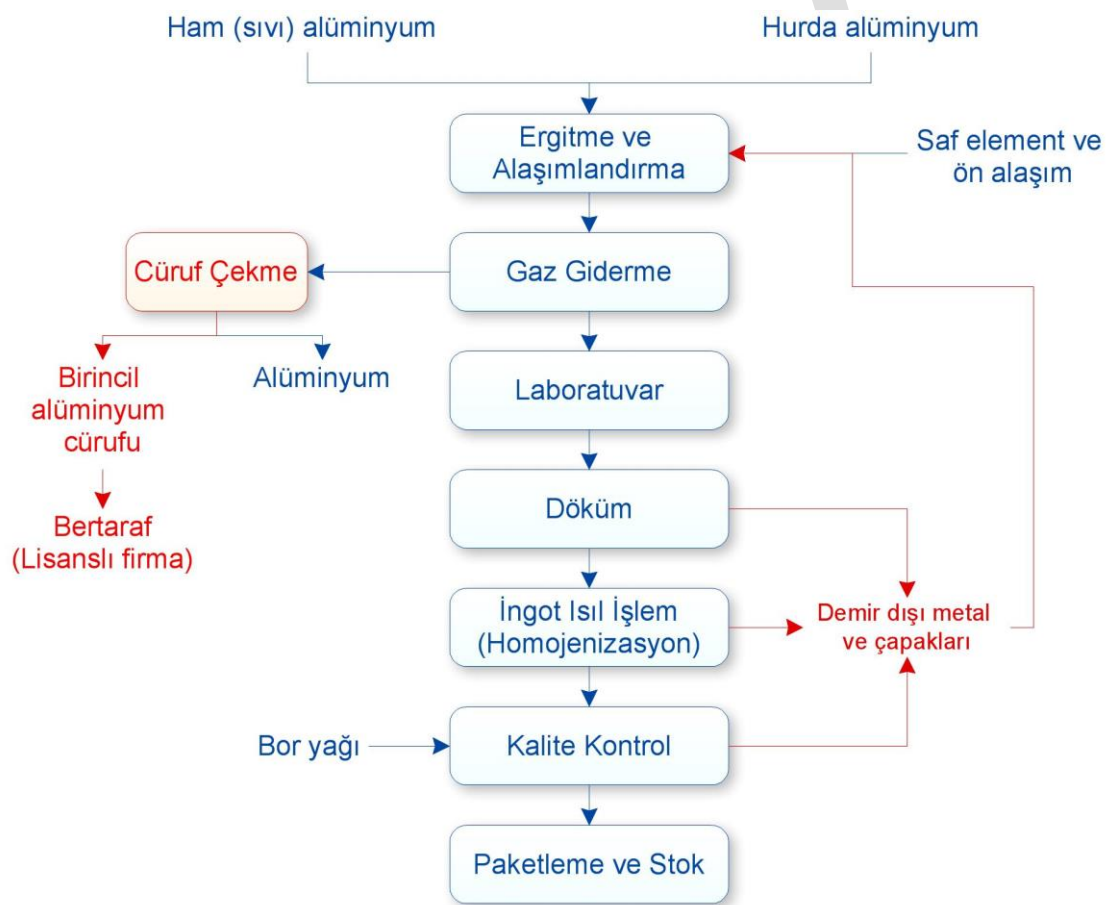


Şekil 2. Ham (sıvı) alüminyum üretimi akış şeması

2.3. Dökümhane Tesisi

Bu ünite de ertitme işlemleri, yuvarlak ingot, yassı ingot ve t-ingot dökümü, talaş presleme teknolojisi sayesinde ve alüminyum üretim tesisinden gelecek ham alüminyum sıcaklığından faydalanılarak ertitme fırınlarına dışarıdan alınacak hurda metalin şarjı ile metalin geri kazanımı, otomatik kesim ve talaş presleme, alüminyum sanayinin kullanıldığı döküm alaşımları ile işlem alaşımları üretiminde kullanılan ön alaşımlar üretilmektedir (Şekil 3).

Ertitme fırınlarında katı şarj olarak dışarıdan alınacak hurdalar ve tesis içinde üretim sonucu açığa çıkan hurda alüminyumlar ve fason olarak dönen alüminyumlar şarj edilmektedir.



Şekil 3. Dökümhane bölümü iş akış şeması

Ertitme ve Alaşımlandırma: Ham alüminyum üretildikten sonra dökümhane bölümüne gelerek üretilecek mamul cinsine göre işlenmek amacıyla ertitme fırınlarına şarj edilmektedir. Ertitme fırınlarının üretim tonajı dikkate alınarak fırına şarj edilecek hurda alüminyumlar veya ham alüminyum miktarı belirlenmektedir. Fırın şarjı ile birlikte gerekli alaşım sağlaması için alaşım elementleri ya saf element (Mg gibi) ya da ön alaşım malzemeler (Al-Si, Al-Fe veya Al-Mn gibi) fırına ilave edilmektedir.

Gaz Giderme: Sıcaklığı istenen dereceye yükselmiş sıvı metale, gaz giderme işlemi uygulanır. Metal, bu aşamada sodyum, magnezyum, kalsiyum oksit parçacıkları ve hidrojen gibi safsızlıkları gidermek üzere rafine edilir. Bu rafine etme aşaması, genellikle in-line bir reaktörde eriyik metal içine gaz enjeksiyonu ile gerçekleştirilir. Kullanılan işlem gazı, safsızlıklara bağlı olarak değişir: argon veya azot, hidrojeni çıkarmak için kullanılır; klor ve argon karışımları veya azot, metalik yabancı maddeleri uzaklaştırmak için kullanılır. Alüminyum florür de magnezyumu uzaklaştırmak için kullanılır ve daha sonra metal dökümden önce filtrelendir. Sıvı metal içine verilen gaz, aynı zamanda sıvı metalin içindeki cüruf yapıcı kimyasalların yüzeye taşınmasına yardımcı olur. Böylece fırın içindeki bütün sıvı kitlesinin içine hapsolmuş gazlar giderilirken metalin içinde asılı kalmış cüruf parçaları da yüzdürülmüş olur.

Cüruf Çekme: Ergitme işlemi bitirilip fırın sıcaklığı istenen değerlere geldiğinde fırının temizlenmesi için cüruf çekilmektedir. Çekilen cüruf, cüruf değerlendirme makinesinde ayıklanarak içindeki fiziksel bağlı alüminyum geri kazanılır. Geri kalan cüruf, lisanslı firmalara verilmek üzere cüruf stok sahasına gönderilir.

Döküm: Gazı giderilmiş, cürufu alınmış metal istenilen özelliklere geldiği laboratuvar analizleri ile belirlendikten döküme alınır. Döküm makinesini döküme hazırlamak için ilgili çap ve alaşıma göre daha önceden tanımlanmış olan döküm reçetesi kullanılmaktadır. Tüm hazırlıklar tamamlandıktan sonra sıvı metal, metal transfer sistemi ile döküm makinesine iletilmektedir.

Homojenizasyon: Dökümden çıkan alaşımlı ürünler iç yapılarında gerekli homojenizasyonun yapılabilmesi için alaşım cinslerine göre homojen fırınlarına alınır ve gerekiyorsa ya fırın içinde ya da soğutma fırınlarında soğutularak homojenizasyonlu ingot haline getirilir. Homojenizasyon işlemi sonunda uygun olan malzeme, boy kesme ve paketleme işlemlerini takiben müşterilere teslim edilmek üzere stok sevk sahasına alınmaktadır.

2.4. Haddehane Tesis

Dökümhaneden gelen yuvarlak ve yassı ingotları işleyerek çeşitli profiller ve yassı ürünler üretilmektedir. Haddehanelerde, alevle yüzey temizliği (skarfig) ve taşlama, tufal giderme, kesme, dilimleme ve bozuk kısımların alınması işlemleri gerçekleştirilmektedir. Haddelene sıcak ve soğuk olarak yapılabilmektedir. Ürünler profil, levha ya da folyo üretmek amacıyla haddelenmektedir.

2.5. Yardımcı Tesisler

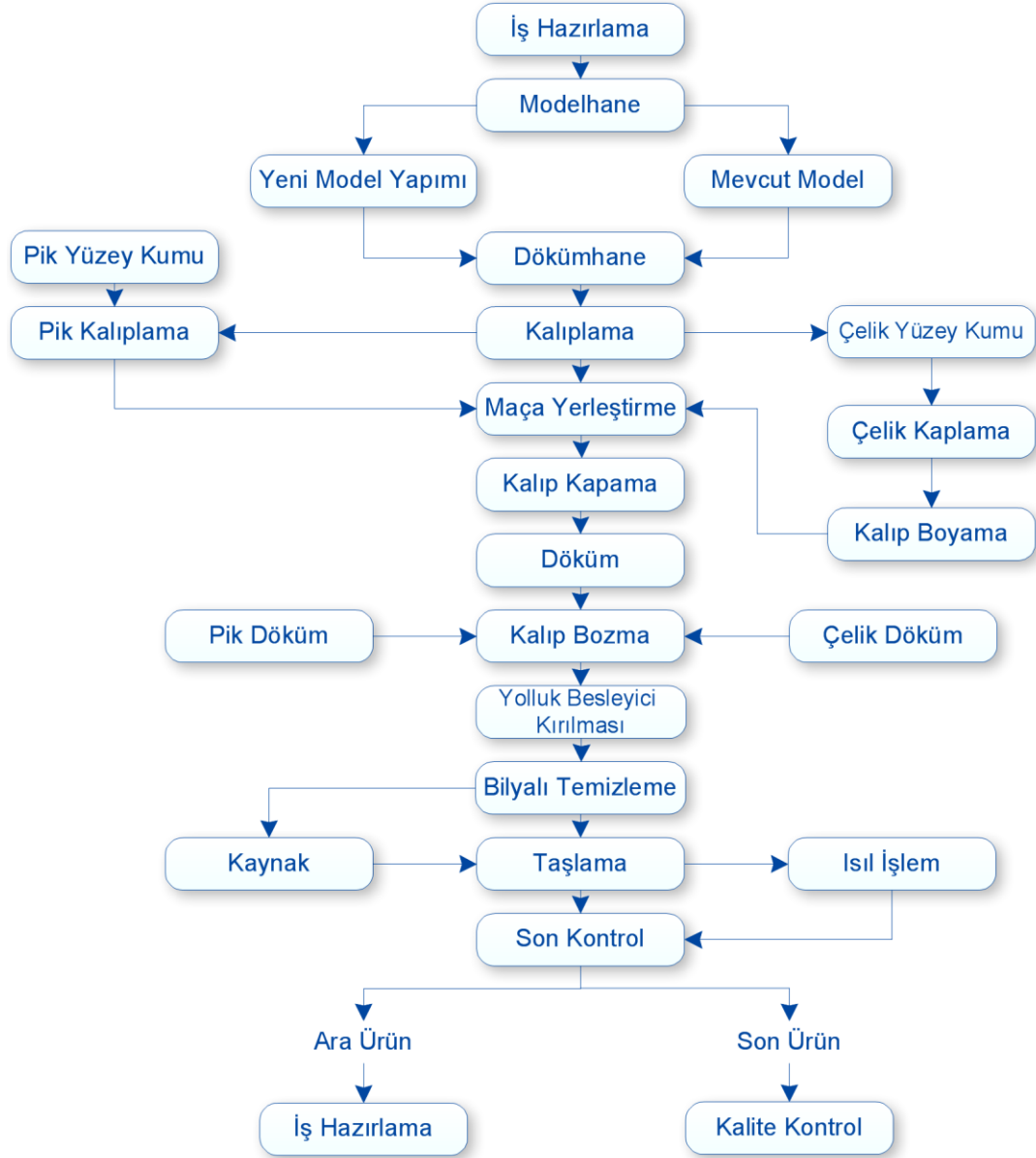
Buhar Santrali: Alüminyum üretim tesislerinde ihtiyaç olan buharı temin etmek amacıyla kurulmaktadır. Santralde istenilen basınç ve sıcaklıkta üretilen buhar tesisin değişik ünitelerinde kullanılmaktadır.

Makina-Techizat Bölümü: Entegre tesislerde, tesiste ihtiyaç duyulan çelik konstrüksiyon imalatı, talaşlı imalat, kaynaklı imalat, sıcak ve soğuk şekillendirme ve döküm imalatını yapabilecek makine teçhizat atölyeleri ve gerekli ekipmanlar bulunur.

Pres atölyesinde her türlü çelik ve alüminyum malzemenin dövme işlemleri yapılır. Dövme işlemi için malzeme kendisine ait şekil verme sıcaklığında doğalgaz tavlama fırınlarında tavllanır. Malzeme istenilen sıcaklığa ulaştığında kalıplar arasından geçirilerek gerekli yapının oluşması sağlanır.

Mekanik atölyesinde, genellikle yedek parça niteliği taşıyan makina parçaları imalatı yapılmaktadır. Makina atölyesi içinde tav fırını ve tuz banyosundan oluşan ısı işlemler uygulanmaktadır.

Model-Döküm atölyesinde üretim tesisinde kullanılan tüm yedek parçaların modellemesi ve modellerin imalatı yapılmaktadır. Ahşap ya da alüminyum malzemeler kullanılarak üretilen modelin yüzeyi neme ve dış etkenlerin olumsuz etkilerine karşı korunması amacıyla boyanmaktadır. Boyanmış model dökümhane birimine gönderilerek burada üretimi gerçekleştirilmektedir. Döküm kumu içinde kalıplanan modeller istenilen kimyasal analize göre indüksiyon ocaklarında hazırlanarak dökülür. Döküm sonucu ürünler taşıma ünitesinde gerekli çapak giderme işlemleri gerçekleştirilerek, ısı işleme tabi tutulur. Gerilim giderme, yumuşatma ve sertleştirme ısı işlemleri gerçekleştirilir. Hazır hale gelen yedek parça kullanılmak üzere üretim tesisine gönderilir. Model-döküm atölyesi iş akış şeması Şekil 4’de verilmiştir.

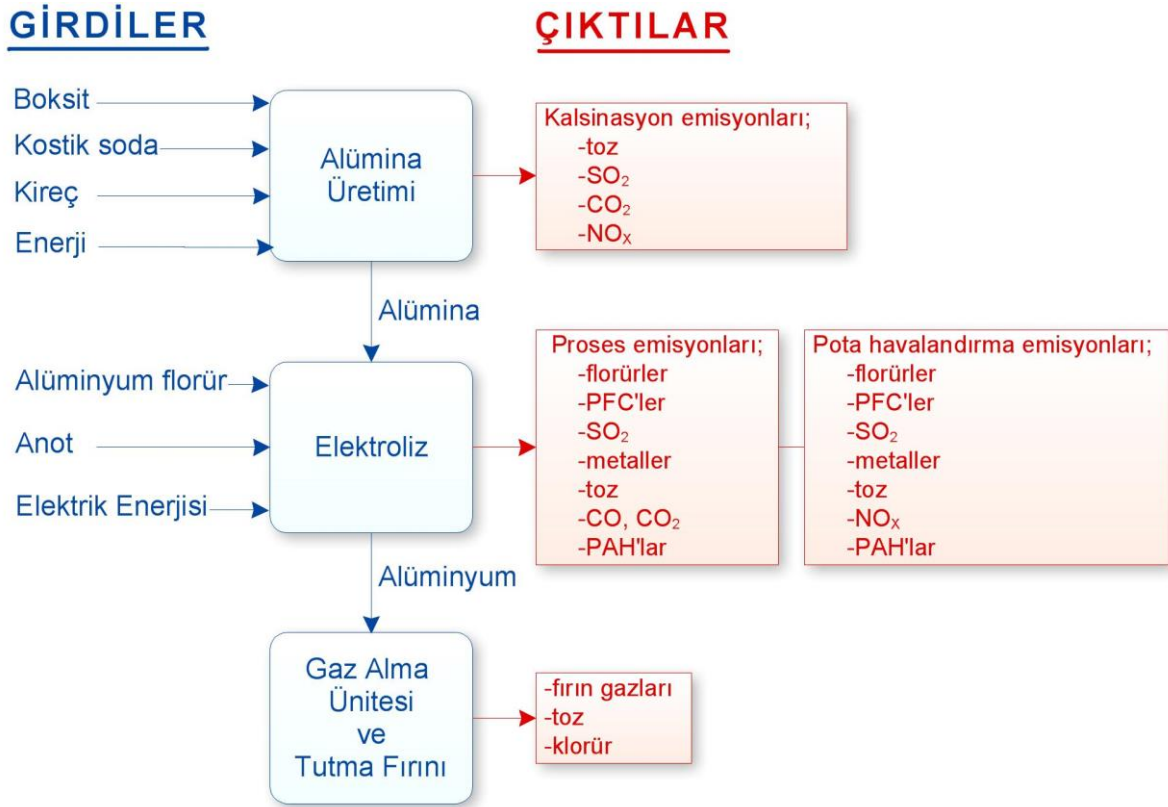


Şekil 4. Model Döküm Atölyesi iş akış şeması

3. EMİSYON KAYNAKLARI

Cevherden alüminyum üretimindeki en önemli emisyonlar; poliflorlu hidrokarbonlar, florürler, polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH), toz ve özel toz emisyonlarıdır.

Alüminyum üretimi sırasında oluşan kirlетici emisyonları Şekil 5'te üretim aşamalarına göre girdilerle birlikte verilmiş, aşağıda da detaylandırılmıştır.



Şekil 5. Cevherden alüminyum üretiminde temel girdiler ve emisyonlar

Elektroliz ünitesinde ortamda bulunan oksijen hücrenin anot karbonu ile birleşerek karbonmonoksit (CO) ve karbondioksit (CO₂) gazlarını oluşturur. Doğal olarak elektroliz işlemleriyle bağlantılı olarak oluşan CO₂'nin yanı sıra, pota havası alma sistemi ve elektroliz hücresi havalandırma sisteminde toz, kükürtdioksit (SO₂), hidrojen florür (HF), partikül halindeki florürler, CO, PFC'ler ve PAH'lar potansiyel emisyonlardır. Dökümhane ve işleme fırınlarında toz, metal, klorür ve yanma ürünleri oluşur.

Alüminyum üretim işlemlerinde oluşan kirlетiciler genel olarak; florürlü bileşikler (HF dahildir), toz, metal/metal bileşikleri, SO₂, azotoksitler (NO_x), CO, PAH, UOB (uçucu organik bileşikler), poliklorlu dibenzo-p-dioksinler (PCDD), klorürlü bileşikler (HCl dahildir)'dir.

3.1. Alümina Üretim Tesisi Emisyonları

Alümina üretimi aşamasında boksit cevherinin maden sahasından üretim tesisine getirilip stoklandığı aşamadan alümina üretimine kadar olan süreç dikkate alınmaktadır. Stok sahasında depolanan boksit cevherinin açık alanda depolanması nedeniyle tozuma ve PM oluşumu gözlenmektedir. Aynı şekilde stok sahasından kırma işleminin yapılacağı bunkerlere taşıma ve boşaltma işlemleri sırasında da tozuma oluşmaktadır.

Cevhere uygulanan kırma, depolama, öğütme, katı kostik ekleme- çözme ve çözelti hazırlama işlemleri kapalı sistemde gerçekleştirilen işlemler olmakla birlikte buralarda kaçak emisyonlara dikkat edilmelidir.

Cevher ve kostik çözeltisinin karışması ile oluşan hamurun otoklavlandığı bölüm de kapalı bir sistemdir. Hamurun otoklava girmeden önce depolandığı tanklarda, otoklavdan çıkan karışımında (sodyum alüminat) sıvı ve katı kısmın ayrılması amacıyla kullanılan çöktürme tankında ve katı kısımda kalan kullanılabilir hammaddenin yıkanması sırasında toz emisyonları oluşabilmektedir. Otoklavlar-Kırmızı Çamur Bölümünde; hamur tankları, seyreltme, çöktürme ve yıkama devresi geri dönüş hattından emisyonlar oluşmaktadır. Bu bölümden açığa çıkan kirleticiler ağırlıklı olarak toz emisyonlarıdır.

Otoklavdan çıkan sodyum alüminat çözeltisi hidrolize edilerek alüminyum hidroksit oluşması sırasında hidrat hamurunda ince ve kalın aşu adı verilen farklı tane boyutu ve su içeriği olan ara ürünler oluşmaktadır. Bu ara ürünler dekompozörlerde tutulmaktadır. Burada sistemdeki diğer kapalı depo alanlarına benzer şekilde toz çıkışı gözlemlenebilmektedir.

Kalsinasyon bölümüne girecek hidrat hamurunun su içeriğinin azaltılması için yapılan buharlaştırma bölümünde de toz çıkışı görülmektedir.

Buharlaştırma bölümünde oluşan kuvvetli çözelti içindeki Vanadyum keki üretimi sırasında (çöktürme havuzunda soğutma işlemi) toz emisyonu oluşmaktadır.

Kalsinasyon işlemi döner fırınlarda yapılmaktadır. Burada kurutma işlemi için gerekli ısı, yakıt kullanımı ile sağlanmaktadır. Bu nedenle kalsinasyon işleminde oluşan emisyonlar; hem yanma kaynaklı kirleticiler hem de kalsine alüminadan kaynaklanabilecek toz ve özel toz emisyonlarıdır. Kalsinasyondan çıkan kurumuş hidratın depolandığı silolarda toz emisyonu oluşabilmektedir. Kurutma-Öğütme bölümünde kurutma işlemi için gerekli ısıyı sağlamak amacıyla kullanılan yakıtı dikkate alarak soğutucu, öğütücü ve ince hidrat silosundan toz ve yakıt kaynaklı kirleticiler açığa çıkmaktadır.

3.2. Ham (Sıvı) Alüminyum Üretim Tesisi Emisyonları

Sıvı alüminyum üretimi elektroliz işlemi ile gerçekleşmektedir. Elektroliz işleminde kullanılan anot malzemesi rodlama ünitesinde üretilmekte, kalsine petrol koku ve zift preslenerek anot malzemesi oluşmaktadır. Oluşan malzemenin mukavemetini arttırmak ve uçuculardan kurtarmak amacıyla yapılan yüksek sıcaklıkta pişirme işlemi sırasında UOB, yanma gazları ve PAH gibi kirleticiler oluşmaktadır.

Elektroliz işlemi sırasında; elektroliz sıvısına ilave edilen florürlü bileşikler nedeniyle HF emisyonu ve PFC (CF_4 ve C_2F_6), anot karbonunun oksijen ile birleşmesi sonucunda da CO ve CO_2 emisyonları açığa çıkmaktadır. Benzer şekilde anot karbonunda bulunan azot ve kükürt oksijen ile birleşerek NO_x ve SO_2 gazlarının açığa çıkmasına neden olmaktadır. Metal

bileşikleri, alümina ve alüminyum florit konsantrasyonları da oluşabilir ve elektroliz sırasında dışarı atılabilir.

Elektroliz sırasında oluşan en önemli toz emisyonu alümina ve cryolite'tir. Toz toplama ve tutma veriminin düşük olması halinde toz emisyonu ile birlikte alümina tozları yüzeylerinde tutulan HF te emisyon olarak atmosfere verilir.

3.3. Dökümhane Emisyonları

Sıvı ham alüminyum ve hurda alüminyum eklenmesi ile ergitme fırınında belirli bir alaşım elde edilir. Reçetesi verilen alaşım elde edilmesi amacıyla bu işlem sırasında farklı elementler de eklenebilmektedir (Al-Si, Al-Fe, Al-Mn, vd.). Bu nedenle ergitme fırınlarında oluşabilecek emisyonlar yanma kaynaklı emisyonlar (CO, NO_x, SO₂, PAH, UOB, toz) ile özel toz emisyonlarıdır (kalsiyum, florür). Fırınlara ek olarak cüruf çekme, döküm ve ingot ısıtma işlem proseslerinde de benzer kirleticiler oluşmaktadır.

Ergitme tesisinde cüruf alma ve taşıma işlemleri sırasında da toz emisyonları oluşmaktadır.

3.4. Haddehane Emisyonları

Haddehanelerdeki emisyon kaynakları, ürünlerin işlenmeye hazır hale getirildikleri tav fırınlarıdır. Tav fırınlarında tüketilen yakıt türü, oluşacak emisyonlar açısından oldukça önemlidir. Kullanılan yakıt türüne bağlı olarak yanma kaynaklı kirleticiler haddehanelerin en önemli emisyonlardır.

4. EMİSYON AZALTIM/KONTROL TEKNİKLERİ

Tesis içinde kullanılacak olan ham maddeler olan cevher, kostik, hurda malzemeler kapalı alanlarda veya silolarda depolanmalıdır. Özellikle cevher özel olarak dizayn edilmiş ve işaretlenmiş bölgelerde depolanmalıdır. Cevherin açık alanda depolanması durumunda sürekli sulama ve ıslatma sistemleri kullanılarak oluşacak tozumanın önüne geçilmelidir.

Tüm depolama ve taşıma faaliyetlerinde (cevher, cüruf, yardımcı maddeler vd.) rüzgar etkisiyle tozumanın önlenmesi için ıslatma teknikleri ve rüzgar kesici perdeler kullanılabilir. Taşıma esnasında oluşacak toz emisyonları, taşıma işlemlerinin kapalı konveyör bantlar aracılığı yapılması, yolların sulanması ve periyodik süpürülmesi ile azaltılabilir.

Kırıcı, depolama, öğütme, değirmen besleme bunker, çöktürme ünitesi, seyreletme ünitesi gibi bölümlerde toz toplama sistemleri kurulmalı ve uygun tekniklerle (siklon, torba filtre vb) kontrol edilmelidir.

Hidrat hamurunun kurutma işlemi sonucunda oluşan malzeme bir hammadde ve ara ürün olması nedeniyle toz kontrolü için torba filtreler kullanılabilir ve böylelikle emisyon azaltımı ile birlikte hammadde geri kazanımı sağlanmış olur.

Kalsinasyon fırınlarında oluşan yanma gazları ile birlikte bacaya taşınan alümina miktarı çok yüksek olup hem emisyon kontrolü hem de ürün kaybını önlemek için yüksek verimli elektrostatik filtreler veya torba filtreler kullanılmalıdır.

PFC emisyonlarına neden olan anot etkileri, düşük alümina konsantrasyonları ile doğrudan ilişkilidir. PFC'lerin emisyonunu azaltmak için proses kontrolü gereklidir.

Kuru yıkama sisteminin ana amacı, elektroliz prosesinden çıkan atıkgaz içerisindeki flüorürleri ve tozu uzaklaştırmaktır. Kuru yıkayıcılar, alumina üzerinde adsorpsiyon ile flüorürlerin geri kazanılmasına dayanır. Taze alumina elektrolizden gelen işlem havasıyla birlikte bir reaktör evresine getirilir. Gaz halindeki florürlerin (HF) alümina üzerindeki adsorpsiyonunun çoğu bu reaktör evresinde gerçekleşir. Proses havası-alümina karışımı, daha sonra, flüorür ile zenginleştirilmiş alüminin proses havasından ayrıldığı bir toz giderme sistemine girer. Genel olarak toz filtreleme için torba filtreler kullanılır. Filtreler üzerinde oluşan toz kekinden dolayı ilave bir adsorpsiyon sağlanmaktadır. Proses havasından çıkan alümin, elektroliz için alümina beslemesi ("sekonder alümina beslemesi" olarak adlandırılır) olarak kullanılır.

Elektrolizin neden olduğu emisyonlar ıslak yıkama ile azaltılabilir. Islak yıkama genel olarak kuru yıkamaya ek önlem olarak uygulanır. Islak yıkama temelde SO₂ giderimi için uygulanır fakat aynı zamanda florür emisyonlarını ve kısmen tozu azaltır. Islak yıkama, elektroliz hücrelerinden yayınlanan gazlarına uygulanabilir. Yıkama çözeltisi olarak deniz suyu, sodyum hidroksit (NaOH) veya sodyum karbonat (Na₂CO₃) kullanılmaktadır.

5. ÖLÇÜM VE İZLEME

Entegre alüminyum üretim tesislerinde ölçülmesi ve izlenmesi gereken kirleticiler kaynaklarına göre Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Entegre alüminyum üretim tesislerinde emisyon kaynakları ve izlenecek kirleticiler

Emisyon kaynağı (Ölçüm noktası)	İzlenecek kirleticiler	İzleme periyodu	Sürekli İzleme ¹
Alümina Üretim Tesisi Toz toplama ve kontrol sistemi bacaları	Toz	İzin + Periyodik	
Hammadde Hazırlama	Toz	İzin + Periyodik	
Kalsinasyon	CO, NO _x , SO ₂ , Toz	İzin + Periyodik	
Ham (Sıvı) Alüminyum Üretimi	Toz, HF, HCl, CO, PAH, TOK, NO _x , SO ₂ , PCDD/PCDF	İzin + Periyodik	
Ergitme ve Dökümhane	CO, NO _x , SO ₂ , Toz, Al	İzin + Periyodik	
Haddehane	NO _x , Toz	İzin + Periyodik	
Grafit üretimi fırın bacası	Toz, PAH, Benzen, TOK	İzin + Periyodik	

¹ EK-4’teki hükümlere de bakılmalıdır.

6. KAYNAKLAR

- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2009. Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği.
- Gianluca Cusano, Miguel Rodrigo Gonzalo, Frank Farrell, Rainer Remus, Serge Roudier, Luis Delgado Sancho, 2017. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the main Non-Ferrous Metals Industries, EUR 28648, doi:10.2760/8224.
- TA LUFT, 2002. “Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit”, Almanya Hava Kirliliği Kontrolü Teknik Talimatnamesi - TA Luft).