

## ELEKTROSTATİK BOYA OLARAK TOZ NEDİR?

Yüzeylerin, eridiğinde sürekli ve düzgün bir film oluşturan tozlarla boyanması fikri 1950'lerde ilk ortaya çıkışından beri düzenli olarak gelişmiştir. Önceleri termoplastik reçineler kullanılmasına karşılık, son otuz yıldır, çok daha geniş bir kullanım alanı sağlayan termoset toz boyalar geliştirilmiştir.

Termoset toz boyaların kullanımının gittikçe artırılması, hava ve su kirliliğini azaltma ihtiyacı nedeniyle gereklidir. Buna günümüzün yüksek temel ham madde ve işçilik maliyetleri de eklendiğinde toz boyalar, sıvı sanayi boyalarıyla kıyaslandığında çoğu zaman uygun bir alternatiftir.

Ayrıca tek başlarına birşey ifade etmeyen fakat beraber ele alındıklarında önemli tasarruflar sağlayan avantajları da vardır.

### TERMOSET TOZ BOYALARIN AVANTAJLARI ŞUNLARDIR:

**Enerji Tasarrufu** - Toz boyanın en önemli avantajlarından birisi boyama kabineye yapılacak hava beslemesinin azlığıdır. Çünkü toz boyalar ortam sıcaklığında buharlaşan bileşikler içermediğinden kabine beslenen hava, fabrika içinde tekrar kullanılabilir. Bu, özellikle zor hava şartlarının hüküm sürdüğü yerlerdeki fabrikalar için önemli bir avantajdır.

Diğer önemli avantaj ise, toz boya için gereken fırın havalandırmasının sıvı boyalardakine göre çok daha az olmasıdır. Toz boyalarda buharlaşma çok azdır.

**İşçi Tasarrufu** - Toz boyalar kullanıcının eline geçtiğinde kullanıma hazır haldedir. Uygulama prosten önce birçok yaş boyada olduğu gibi herhangi bir solvent veya katalizör ile karıştırılmasına ihtiyaç yoktur. Bu kolaylık, gerekli tesis alanını azalttığı gibi, sıvı boyalarda yeterli film özelliklerini sağlamak için kontrolü çok önemli bir değişkeni de ortadan kaldırır. Proses başlatıldıktan sonra yaş boyalarda PH, viskosite gibi, elektrostatik sistemlerde katı madde, özgül direnç, bağlayıcı/pigment oranı gibi kritik parametrelerin kontrol altında tutulmasına gerek yoktur. Sonuç olarak toz boya sistemlerinde çalışacak operatörlerin yetenek ve alması gereken eğitimleri yaş boya sistemlerine göre çok daha azdır.

Toz boya sistemlerinin basitliğinden dolayı otomasyona geçmek mümkündür. Böyle sistemlerde çok az veya hiç manuel takviye gerekmez.

**Yüksek Üretim Verimliliği** - Toz boyanın ilk seferde kullanımına göre verimlilik, hava kabartmalı yatak operasyonlarında %100, elektrostatik spreysel operasyonlarında ise %50-80 arasında kabul edilebilir. Kullanılmayan %20-50'lik miktar ise uygulama operasyonu sırasında uygun şekilde toplanıp bir sonraki operasyonda tekrardan kullanılabilir. Böylece toz boya kullanım verimliliği %95-98'lere kadar çıkarılmış olur. Yaş boya sistemlerinde ise verimlilik %20-90 arasındadır.

Toz boyalarda damlama, akma veya sarkma gibi problemlerin oluşması pratikte imkansız olduğundan hata miktarlarında önemli ölçüde azalma olmuştur. Eğer kürlenme aşamasından önce kötü boyanmış bölgeler tespit edilirse parça hava tabancası ile boyadan arındırılıp tekrardan boyanabilir. Solvent içermediğinden ve flash off süresi gerektirmediğinden, toz boyalar direk olarak fırına alınabilir. Bu durum uygulama süresinden ve tesis alanından önemli tasarruflar sağlar. Buna ek olarak, flash-off aşaması sırasında oluşabilecek boyanmış parçanın üzerine istenmeyen tanecik veya tozların yapışması riski çok azdır ve böylece hatalı ürün sayısı çok aza indirilmiş olur.

Yaş boyalar ile karşılaştırıldıklarında tek kat boya ile eşit veya daha iyi film özellikleri elde etmek mümkündür.

Toz boyalar, fırınlama işlemi sırasında tam olarak kürlendiklerinden parçaların fırından çıkarılması, bir araya getirilmesi, montajı, ambalajlanması aşamalarında oluşabilecek boya hasarları yaş boyaya göre çok daha azdır. Bu sadece parçaların işlem süresini kısaltmaz hata sayısını da azaltır.

Termoset toz boya ile, sıvı boya eşdeğerlerine göre çok daha yüksek değerlerde fiziksel ve kimyasal dayanım elde edilir. Bu sayede boyadan çıkan parçanın nakliye sırasında zarar görmesini engellemek için gerekli paketleme masrafları çok aşağılara çekilebilir.

Son olarak toz boyaların stoklanması ve toz boya üretim tesisi için gereken alan yaş boyadakinden çoğu zaman çok daha azdır.

**Çevre Faktörü** - Toz boyalar hiç solvent içermediği halde yağ boyaların ortalama olarak %60-70'i solventtir. Uygulama ve fırınlama sırasında buharlaşan bu solventler geri kazanılmadığı gibi direkt olarak atmosfere bırakılmaları da bazı standartlar tarafından kısıtlanmıştır. Bundan dolayı yağ boya sistemlerinde bacaya bir yakıcı yerleştirilerek solventler atmosfere bırakılmadan önce yakılır. Bu yakıcı ek bir maliyet getirdiği gibi yanma atıkları da çevre kirliliğini olumsuz etkiler.

Diğer önemli çevre faktörü ise sıvı boya uygulamalarından sonra ortaya çıkan çamur, dolmuş filtreler, temizlik solventi gibi çevreye zararlı atıklardır. Bu atıkları imha etmek hem masraflı hem de çevreye zararlıdır. Sıvı boya sistemlerinin uygulanmasında kullanılan kabinler genellikle basınçlı suyla yıkanan sistemlerdir. Akan boya su ile temizlenerek, atık su bazen direkt olarak kanalizasyona, bazen de çökeltme tanklarına verilir.

Toz boya sistemlerinde katı atık problemleri hemen hemen elimine edilmiştir. Birçok atık toz boya doğada belirli bölgelere rahatlıkla atılabilir. Toz yaratması problem olursa su ile ıslatılabilir veya fırında biraz kürlenilebilir.

**İş Güvenliği ve İşçi Sağlığı** - Toz boyalar solvent içermediğinden yangın riski de buna bağlı olarak azalmaktadır. Bu durumda tesiste yasal olarak alınması gereken tedbirler ve yangın sigortası taksitleri azaldığından, çeşitli tasarruflar da sağlanır. Buna ek olarak etrafa boya saçılması olduğunda endüstriyel vakum temizleyici yardımıyla boya güvenli ve kolay bir şekilde temizlenebilir.

Boyacıların sağlığı açısından çok daha az tehlikelidir. Toz boyalar solvent içermediklerinden, sıvı boya tesislerinde özellikle sıcak havalarda iyice ortaya çıkan kulak, burun, boğaz alerjileri ve iltihaplarına neden olmazlar. Boyacının cildine temas eden bir sıvı boya öncelikle bir solventle temizlenmeli, ardından sıcak su ve sabunla yıkanmalıdır. Bazı boyalarda bu temizlik için özel endüstriyel yıkama deterjanları da gerekebilir. Bütün bu yıkayıcılar, vücut için gerekli bazı yağları ciltten aldıklarından, alerjiye sebep olabilirler. Genel olarak toz boyalar alerjik değildir. Ancak bazı özel durumlarda nadir olarak bazı kişiler bazı toz boyalara karşı hassasiyet duyabilirler. Bu boya ılık su ile yıkanarak kolayca ciltten uzaklaştırılabilir.

Son yıllarda polyester toz boyalarda sıklıkla kullanılan ve TGIC adı verilen maddenin bazı irsi ve alerjik etkileri olduğu ortaya çıkmıştır. Bu durumun ortaya çıkışından beri bazı firmalar TGIC içermeyen ürünler geliştirmiş ve piyasaya sürmüştür.

Toz boyaların ağır metal, özellikle kurşun içeriklerinde de önemli gelişmeler sağlanmıştır. Bugün artık her renkten kurşun içermeyen toz boyalar mevcuttur.

**Yatırım Maliyeti** - Toz uygulama tesisi yatırımı daha az maliyetlidir – Gerek manuel gerekse otomatik bir toz boya uygulama tesisi, sıvı bir elektro-boya tesisine göre hem işletmesi aşırı derecede kolay, hem de daha az masraflıdır. Tecrübelerle göre bir toz boya tesisi kendi maliyetini bir yılda çıkartabilmektedir.

**Diğer Avantajlar** - Daha üstün film özellikleri – Solvent bazlı sistemlerde boya kusurlarının çoğu solvent dengesinden kaynaklandığından, solvent dengesi polimer tipine, uygulama ve fırınlama koşullarına göre ayarlanmalıdır. Toz boyalarda böyle bir problem yoktur ve genel olarak yapışma/tutunma, korozyon dayanımı gibi film özellikleri sıvı sistemlere göre daha iyidir.

**Metalik olmayan yüzeyler de boyanabilir** - Hızlı kürlenme ile ilgili teknolojilerin gelişmesiyle beraber, toz boya ile boyanabilen malzeme çeşitliliği her geçen gün artmaktadır. Cam ve termoset plastikler gibi kürlenme ısısına dayanabilecek bazı malzemeler de toz boya ile boyanabilir.

**Geniş bir boya yelpazesi** - Toz boyalarda dekoratif ve fonksiyonel olarak çok değişik çeşitte boyalar elde etmek mümkündür. Bu boyalar mattan parlağa kadar çeşitli parlaklıklarda, düz yüzeye, tekstüre veya pütürlü yüzeylere sahip, metalik veya diğer özel efektlerde üretilebilir. Polimer tipinin uygun seçimi ile korozyon dayanımı veya dış çevresel dayanım gibi performans özellikleri optimize edilebilir.

**Kontrollü film kalınlığı** - Toz boyalarla tek seferde kalınlığı kontrol edilebilen ve istendiğinde yüksek kalınlıklarda filmler kolayca elde edilebilir. İnce film toz boyaların yüzey düzgünlüğünde sağlanan gelişmeler, ince filmleri de seçenekler arasına almıştır.

**Yüzey hazırlama** – Çoğu boyalı metal yüzeyde olduğu gibi hazırlama ve önışlemler, korozyon dayanımı ve dış çevresel dayanımının yüksek olabilmesi için gereklidir.

**Toz kullanımı daha temizdir** – Toz boyayı uygulamak, sıvı boyaya göre çok daha temizdir. Boya kabini, kabin hava emmeye devam ederken, lastik bir cam sileceği ile kolayca temizlenebilir. Bu temizlikte basınçlı hava veya fırça kullanılmamalıdır. Boya kabini dışındaki her türlü boya döküntüsü sanayi tipi, toz geçirmez motorlu bir elektrik süpürgesi ile temizlenmelidir.

### **ELEKTROSTATİK TOZ BOYANIN DEZAVANTAJLARI**

**İnce film elde etmek zordur** – Toz boyalarda ince film (25 $\mu$ ) elde etmek yağ boyalara göre daha zordur. Ancak, toz boyanın uygulama maliyetine topluca bakıldığında, film kalın da olsa toz boya uygulamak çoğu zaman daha ekonomik olmaktadır.

**Renk değişimi daha yavaştır** – Sıvı boyalarda renk değişimi daha hızlı yapılabilir. Ancak toz boya uygulama ve temizleme ekipmanlarında son yıllarda meydana gelen gelişmeler, renk değişim süresini oldukça kısaltmıştır.

**Toz boyalar karıştırılmaz** – Toz boyalar değişik renkler elde etmek için karıştırılmazlar. Ancak sanayide kullanılanlar zaten istedikleri renge ayarlanmış toz boyalar kullandıklarından, bu durumun çok hayati olmadığı değerlendirilmektedir. Toz boyalar günümüzde endüstriyel olarak akışkan yatak ya da elektrostatik püskürtme ile uygulanmaktadır.

### **ELEKTROSTATİK TOZ BOYA UYGULAMA YÖNTEMLERİ**

#### **Akışkan yatak**

Akışkan yatak ilk olarak termoplastik toz boyaların uygulanması için geliştirildi, ve hala bu tür toz boyaların uygulanmasında en çok kullanılan yöntemdir. Termoset toz boyalarda ise kullanımı özellikle tek bir uygulamada çok kalın (250-300 $\mu$ ) bir film istenen durumlarla sınırlıdır. Bu tür parçalara örnek olarak su ve gaz boru hatlarında kullanılan vanalar gibi sağlam, uzun ömürlü ve yüksek korozyon dayanımlı bir kaplama gerektiren parçalar verilebilir.

Akışkan yatak esas olarak dibinde bulunan esnek, büyük delikli bir elekten kontrollü olarak hava üflenen bir toz boya kazanından ibarettir. Bu hava toz boyayı akışkanlaştırıp, ona sıvı gibi bir hal kazandırarak içine daldırılan parçaya direnç göstermemesini ve düzgün bir boya film kalınlığı elde edilmesini sağlar.

Boyanacak parça kazana daldırılmadan önce, toz boyanın erime sıcaklığına kadar ısıtılır. Parça üzerindeki boya film kalınlığı daldırma süresi ve parçanın ön ısıtma sıcaklığı ile kontrol edilir. Boyanan parçalar yeterince büyük olmadığında ısı tutma kapasitesi yetersiz olacağından, parçanın boya uygulamasından sonra tekrar fırınlanması gerekebilir.

#### **Avantajları**

- ✓ Bir tek daldırma ve fırınlama ile, son derece kalın ve korozyon dayanımı yüksek bir boya tabakası elde edilebilir.
- ✓ Doğru formüle edilmiş toz boyalar ile çok düzgün dağılımlı bir yüzey elde edilebilir.
- ✓ Tesis yatırımı maliyeti düşüktür.

#### **Dezavantajları**

- ✓ Kazanı doldurmak için nispeten daha fazla toz boya gereklidir.
- ✓ Boyanacak parçanın önceden ısıtılması, ve bazı durumlarda sonradan da fırınlanması gerekir.
- ✓ Bu yöntem sadece kalın bir film gereken durumlarda uygulanabilir.
- ✓ Bu yöntem çok karmaşık şekilli parçalara uygulanamaz.
- ✓ Et kalınlığı çok ince parçaların ısı tutma özelliği düşük olduğundan, bu tür parçalara uygulanamaz.

### **Elektrostatik toz boya püskürtme yöntemi**

Genellikle boya uygulama kabini yanında bulunan bir toz boya kazanından, hava akımı ile elektrostatik püskürtme tabancasına iletilen toz boya parçacıkları elektrik yükü kazanırlar ve topraklanmış parça yüzeyinde birikirler. Daha sonra boyalı parça fırına alındığında, erime ve kürlenme gerçekleşir. Parça üzerine tutunmayan boya toplanır ve tekrar kullanılır.

### Avantajları

- ✓ Karmaşık şekilli parçalara boya uygulanabilir.
- ✓ 35-125µ kalınlıklarında filmler bir seferde elde edilebilir.
- ✓ Yüksek üretim hızı sağlamak için otomatik olarak uygulanabilir.
- ✓ Renk değişimleri yapılabilir.
- ✓ Parçanın önceden ısıtılması gerekmez.
- ✓ İnce malzemeden parçalar (örneğin folyo) da boyanabilir.

### Dezavantajları

- ✓ Uygulama ekipmanı yatırım maliyeti akışkan yatağa oranla daha yüksektir.
- ✓ Uygulama hızı sıvı boyalara oranla daha düşüktür.

### **TİPİK BİR ELEKTROSTATİK TOZ BOYA EKİPMAN İHTİYAÇLARI**

Boya besleme kazanı.

1. Toz boyayı kazandan tabancaya ulaştırmak için, nem oranı kontrollü bir basınçlı hava kaynağı.
2. Yüksek gerilim kaynağı (30-100 kV).
3. Toz boya tabancaları;
  - ✓ Manuel,
  - ✓ Otomatik.
4. Fazla atılan boyanın sürekli bir hava akımı ile geri kazanım birimine iletilmesini sağlayan, özel olarak tasarlanmış bir uygulama kabini.
5. **Bir geri kazanım ünitesi;**
  - ✓ Siklonlu
  - ✓ Filtreli
  - ✓ Her ikisinin karışımı
  - ✓ Lamel filtreli
  - ✓ Pvc toz boya kabinleri
6. Geri kazanılan boyayı, besleme kazanına aktarmadan önce temizlemek için bir elek.
7. Topraklanmış bir konveyör.
8. 160-200°C sıcaklıkta çalışan bir kürlendirme fırını.

**Yüksek gerilim kaynağı** - Genellikle 30-100 kV voltaj aralığında gerilim sağlayan yüksek gerilim kaynakları, çoğunlukla toz boya kazanı ve püskürtme ekipmanı yakınına yerleştirilir. Tabancanın kabzası topraklanmış, metal veya düşük dirençli malzemeden en az 20 cm<sup>2</sup> yüzey alanına sahip olmalıdır. Yüksek voltaj iletkeni yalıtkan bir tabaka ile kaplanmış, 'topraklı bir metalik kılıf' içinde olmalıdır. Çoğu durumda gerilim kaynağı, boya besleme ve hava besleme hatları tek bir muhafaza içinde bulunur.

Bazı gerilim kaynakları hem negatif, hem de pozitif çıktı verecek şekilde tasarlanmışlardır. Bütün gerilim kaynakları yüksek voltaj arızalarına karşı bir aşırı akım sigortasına sahip olmalıdır. Sistemde bir kısa devre olduğunda, gerilim kaynağı hemen devre dışı olmalı ve görsel veya işitsel bir alarm çalışarak, problemin varlığını bildirmelidir.



**Toz boya beslemesi** - Toz boyanın besleme kazanından püskürtme tabancasına beslenmesi için, üç yöntem mevcut olup, bunların üçü de taşıma ortamı olarak havadan yararlanır.

Burada dikkat edilmesi gereken temel prensip, toz boyanın düzenli ve dengeli beslenmesi, beslemede dalgalanma veya atma olmamalıdır. Toz boya ve hava debisinin ayrı ayrı kontrol edilebilmesi, doğru oranın ayarlanabilmesini mümkün kılar. Toz boya ve hava çıkış debisi öyle ayarlanmalıdır ki, tabanca ağzından bir miktar mesafede bile hava akımı olmalıdır.

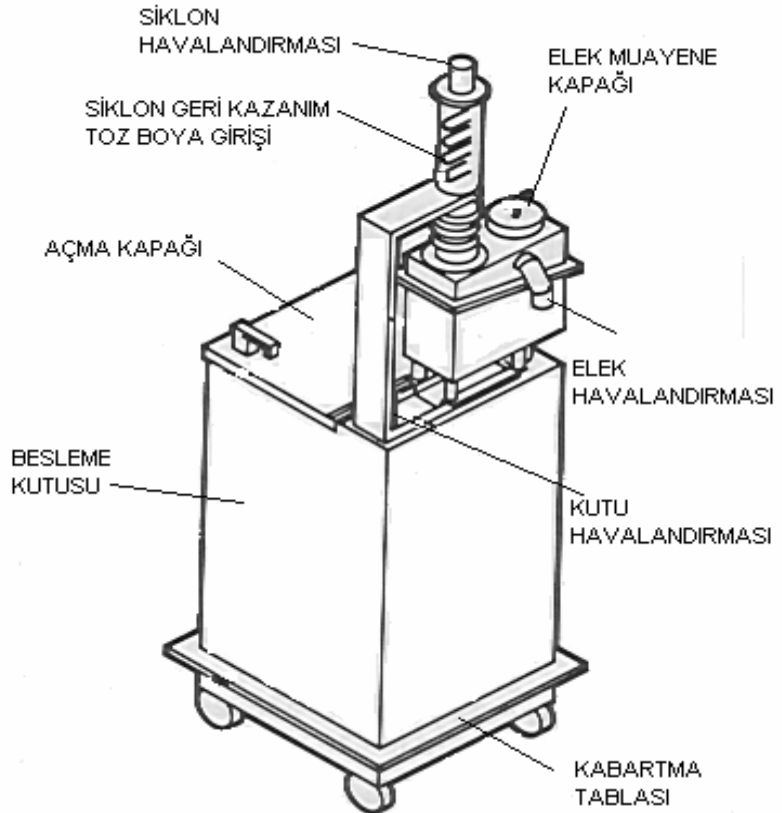
Çoğu boya kazanı huni şeklinde tabanı ile birbirine benzer yapıdadır. Toz boya çıkış deliği çapı tozun tabancaya taşınmasında kullanılan yöntemle göre değişir.

Sonsuz vida besleme sisteminde, toz boya kazandan boyayı tabancaya kadar götüreceği hava akımının içine bir vida ile enjekte edilir. Bu yöntemde, hava akımına verilen toz miktarı hassas, sabit ve tekrarlanabilir şekilde ayarlanabilir. Diğer besleme yöntemlerinde sistem bir süre duruştan sonra çalıştırıldığında ilk anda görülen puflama, sonsuz vida besleme sisteminde görülmez.

Diğer yöntemlerde olduğu gibi, venturi enjektör ancak tetiğe basıldığında devreye girer. Fazladan bir hava çıkışı kazandaki boyayı kabartarak toz boyanın kenarlarda yığılma eğilimini ortadan kaldırır, enjektörün boyasız kalmamasına yardımcı olur. Bunun alternatifi, döner bir karıştırıcı kullanmaktır.

Üçüncü yöntemde, düz tabanlı bir kazan içindeki toz boya hava ile kabartılarak, değişken şoklu bir enjektörün yarattığı vakum ile kazandan çekilir.

Toz boya besleme hattı bağlantılarının kolayca sökülüp takılabilir olması, temizlik ve renk değişimini hızlandıracağından tercih edilen bir durumdur.



**Tabanca** - Tabanca üreticileri manuel ve otomatik çok çeşitli tabancalar sunmaktadırlar. Tabanca içindeki toz boya geçidi olabildiğince düz ve pürüzsüz olmalıdır. Bu geçitte bulunabilecek bükümler ve pürüzler toz boya birikimine, bloklaşmasına, ve sonuçta, toz boya çıkışında ‘öksürme’ veya ‘kesik atma’lara neden olur.

Toz boya püskürtme huzmesi değişik deflektör kullanılarak, geniş bir disk, koni veya çubuk şeklinde olacak şekilde ayarlanabilir. Boya huzmesinin çapı ve derinliği boyanacak parçaya göre ayarlanmalıdır.

İçbükey veya dışbükey, konik şekilli, tek veya çift yarıkli bir çok deflektör çeşidi mevcuttur. Deflektör yüklü toz boya taneciklerini parçaya yönlendirmek üzere, çatal veya fırça şeklinde, hava kanallarına sahip olabilir.

Tabancaların çoğu yüksek bir boya çıkışı sağlayabilecek şekilde tasarlanmışlardır. Ancak boya çıkışı arttıkça, parça üzerine tutunma verimi de düşer ve kabine saçılan boya oranı artar.

Toz boya tabancaları kullanıldıkları uygulamaya uygun boya çıkışı sağlayacak şekilde ayarlanabilirler. Boya çıkışı 100-200 g/dak. (yaklaşık 6-12 kg/saat) kadar düşük ve 500-600 g/dak. (yaklaşık 30-36 kg/saat) kadar yüksek olabilir. 14 kg/saat boya çıkışında, aktarma verimi %60 kabul edildiğinde ve 50µ film kalınlığı istendiğinde, dakikada 1.74 m<sup>2</sup> yüzey kaplanabilir.

Otomatik bir tesiste tabancalar şu şekilde monte edilmiş olabilir:

- ✓ Sabit pozisyonlu, fakat tek tek yönü ayarlanabilir
- ✓ Kabinin bir ya da her iki yanında bulunan ve herbiri bir veya birkaç tabancaya sahip, iner-çıkart robot üzerinde
- ✓ Bir ucu sabit, ancak sürekli bir yay çizecek şekilde ‘menteşeli’

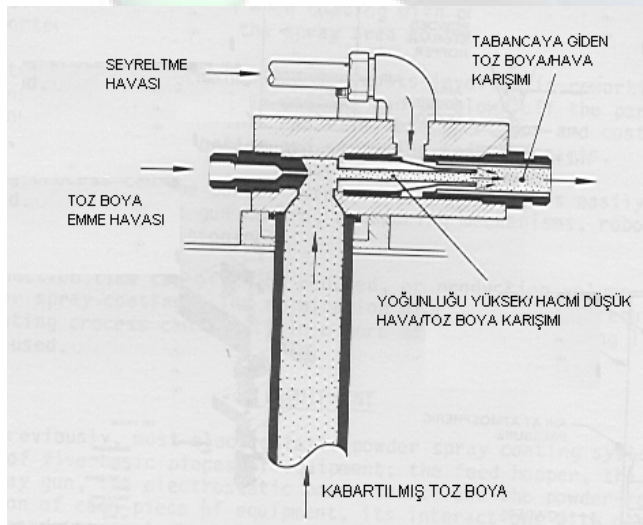
Manuel uygulama şu durumlarda tavsiye edilir:

- ✓ Parçalar karmaşık şekilli
- ✓ Parçalarda yarı kapalı bölgeler var
- ✓ Parçalarda olumsuz bir genişlik/derinlik oranı var
- ✓ Boyanacak yüzey alanı tek bir operatörün başa çıkabileceği kadar küçük

Otomatik uygulamanın önerildiği durumlar:

- ✓ Parçalar bir ölçüde basit şekilli ve düz
- ✓ Boyanması gereken yüzey alanları çok büyük

Bazı otomatik elektrostatik toz boya tesislerinde aynı temel prensipler açıklandığı şekilde geçerlidir. Ancak, tabanca(lar) parça çevresinde önceden belirlenen bir yörüngeye göre hareket edecek, gerektiğinde açılıp kapatılacak şekilde yerleştirilmişlerdir. Bu hareket ya da iniş-çıkış hızı olabildiğince düşük, çoğunlukla 20-35 m/dak arasında ve diğer uygulama şartları ile tutarlı olmalıdır. Otomatik tesislerde rütuş için bir de manuel tabanca bulunması genellikle tavsiye edilir. Bu tabanca parçanın boyanması zor kısımlarına, örneğin girintilere, otomatik boyaya girmeden önce, boya atılmasında kullanılabilir. Boya aktarma verimini artırmak, tabanca ayarlarında esneklik sağlamak ve boyanabilecek parça çeşitliliğini artırmak için çok tabanca kullanılması önerilir.



**Tribostatik tabancalar** - Toz boya bir yüzeye temas ettirildiğinde ve bu yüzeye sürtünerek hareket ettirildiğinde, toz boya tanecikleri bir elektrik yükü kazanır. Bu sürtünme ile yüklenme, diğer bir çok parametrenin yanısıra toz boyanın ve yüzeyin kimyasal ve fiziksel yapısına, bağlı neme ve tanecik hızına bağlıdır. Toz boya kabartma tankından değişken emmeli bir hava enjektörü ile çekilerek tabancaya beslenir. Enjektör emişi beslenen boya miktarını belirler. Enjektör hava basıncı ise, çıkan toz boyanın elektrik yüküyle doğru orantılı olan, toz boya hızını belirler. Hiç bir elektrikselsel kontrol gerektirmediğinden, operatör için üç değişken vardır:

- ✓ Kabartma tankı basıncı
- ✓ Enjektör hava basıncı
- ✓ Enjektör emme kontrolü

#### Avantajları

- ✓ Düşük yatırım maliyeti – yüksek gerilim kaynağı gerektirmez
- ✓ Girintilere nüfuz özelliği çok iyi
- ✓ Kıvılcım yaratmaz
- ✓ Ulaşılabilen en yüksek film kalınlığı klasik sistemlere oranla daha yüksektir.

#### Dezavantajları

- ✓ Toz boyalar değişik reçine, pigment ve yoğunluklara sahip olduğundan, yüklenebilme özelliği çok değişim gösterir.
- ✓ Bağlı nemin artmasıyla birlikte yüklenme verimi düşer.
- ✓ Çalışma süresi uzadıkça yüklenme verimi düşer.
- ✓ Tabanca başına toz boya çıkışı diğer sistemlere göre düşüktür, bu nedenle hat hızları daha düşük olabilir.

### **ELEKTROSTATİK TOZ BOYA PÜSKÜRTME VERİMİ**

Toz boya püskürtme uygulamasında taneciklerin yüklenmesi korona yükleme veya iyon bombardımanı ile gerçekleşir. Bu yükleme elektrodun bulunduğu, toz boyanın çıkış noktası olan ağızlıkta veya civarında oluşur. Elektroda yüksek gerilim verildiğinde, onda etrafında serbest elektronların dolaştığı güçlü bir elektrik kutbu oluşur. Hava içindeki gaz molekülleri bu serbest elektronların bombardımanına uğrayarak iletken hale gelir. Elektrodun elektrik yükünden ters yükle yüklenen iyonlar ve yüklü gaz molekülleri elektroda çekilirler. Aynı yükle yüklenenler ise elektrod çevresindeki alana itilir. Bu alandan geçmekte olan toz boya tanecikleri, yüklü gaz molekülleri veya serbest iyonlar ile çarpışarak yüklenirler. Bir kere yük kazanınca, tutunmak üzere topraklanmış parçaya doğru elektrik alanı boyunca hareket ederler.

Her toz boya tabancasının performansında şu durumlarda değişkenlikler gözlenir:

- ✓ Voltaj yukarı doğru ya da aşağı doğru ayarlandığında
- ✓ Toz boya beslemesi veya hava basıncı ayarı değiştirildiğinde
- ✓ Tabanca-parça mesafesi değiştirildiğinde
- ✓ Toz boya tanecik boyutu değiştiğinde

Değişik yapıdaki tabancalar gibi, değişik üreticilerin ürettiği aynı tabanca bile, aynı ayarlara ayarlandığında farklı davranacaktır.

Toz boyanın yoğunluğu, hacmi, elektrik direnci, taneciklerin şekli ve tanecik büyüklüğü dağılımının da toz boya aktarma verimini önemli ölçüde etkileyen faktörler olduğu anlaşılmıştır.

Toz boya taneciği iyon bulutu içinden geçerken, taşıyabileceği azami yükü kazanmalıdır. Bunu başarmak için taneciğin bu bölgede geçirdiği sürenin de azami tutulması önerilir. Elektrik direnci yüksek toz boya tanecikleri düşük olanlara göre daha iyidir. Çünkü düşük dirençli tanecikler parçaya ulaştıklarında elektrik yükünü kolayca bırakırlar, parçadan düşerler ve dolayısıyla film kalınlığının homojenliğini olumsuz etkilerler.

Bir toz boyanın ‘Aktarma Verimi’, uygulama işleminde parçaya tutunan toz boya ağırlığının, tabancadan püskürtülen toplam boya ağırlığına oranı olarak ifade edilir.

$$\text{Aktarma Verimi} = \frac{\text{Parça üzerindeki boya}}{\text{Püskürtülen toplam boya}}$$

Herhangi bir toz boya uygulama işleminin verimi sadece toz boyanın ve püskürtme ekipmanının özelliklerine değil, aynı zamanda boyanacak parçanın boyutlarına, şekline ve toz bulutu içinde kaldığı süreye bağlıdır. Örneğin, transfer verimi düz panel parçalarda, bükülmüş çubuk veya boru parçalara nazaran daha yüksektir.

Elektrostatik püskürtme uygulandığında, yüklü tanecikler topraklanmış parçaya doğru giderek ona tutunurlar. Dolayısıyla parça yüzeyinde elektrik yüklü bir toz tabakası birikir. Bu tabaka yeni gelen tanecikleri iter, ve kalınlaştıkça Transfer Verimi düşer. Film bir kalınlığa ulaştıktan sonra ise artık yeni boya tutunmaz olur ve film kalınlığı sabit kalır.

Bu açıklanan etki sonradan gelen taneciklerin geri itilmesinde temel neden kabul edilmekle birlikte, toz tabakasından tabancaya doğru bir iyon akımı oluştuğu ve bir tersine elektrik boşalımı olduğu (geri iyonlaşma) ileri sürülmektedir. Bu tersine boşalımın toz boya taneciklerinin geri itilmesi ve geri püskürmesi ile beraber görüldüğü ispatlanmıştır. Bu elektriksel boşalım yerel olduğunda 'iğne delikleri' ve 'kraterlenme' görülebilir.





Uygulama kabinleri toz boya uygulamasında verimli ve ekonomik bir işlem sağlanabilmesinde temel bir role sahiptir. Temel prensip uygulama kabini için toz boyanın dışarı kaçmasını önlemek amacıyla; olabildiğince kapalı, tabanca ve parça giriş açıklıklarının olabildiğince küçük olmasıdır.

Bu prensipler otomatik tesislerde etkili olarak uygulanabilir, ancak manuel sistemlerin yan duvarında operatörün boya atmasına izin verecek nispeten geniş bir açıklık bulunmalıdır.

Uygulama kabini için iç yüzeyi olabildiğince düzgün ve pürüzsüz olmalı, tozun birikebileceği çıkıntılar ve köşeler bulunmamalıdır.

Temizlik, kabin hava çekişi çalışırken, lastik bir cam sileceği ile kolayca yapılabilir.

Konveyör sistemi parçaların asılı olduğu askılar kabin üstünde bulunan bir yarıktan geçecek şekilde, kabin dışında hareket etmelidir. Bu düzenleme sadece toz boya kaçmasını önlemekle kalmaz, daha önemlisi, konveyör zincirinin toz kaplanmasını önler. Birkaç kat pişmiş boya ile kaplanmış askıları temizlemek çok zordur. Kullanıldıktan sonra atılabilir askılar kullanmak daha ucuz ve tercih edilir olabilir.

Toz toplama havası kabini dibinden çekilmelidir. Kabini tabanı toz birikimini önleyecek şekilde, dipteki hava emme ağzına doğru meyilli olmalıdır. Gerekliğinde manuel bir tabanca ile rütuş yapabilmek veya az sayıdaki parçayı deneme amacıyla boyayabilmek için yan duvarda geniş bir kapak ya da sökülebilir bir panel bulunması tercih edilir.

Uygulama kabini, etrafa saçılan boyanın besleme sistemine geri döndürülmek üzere verimli olarak toplanmasını ve taşınmasını sağlamalıdır. Bu demektir ki, verimli bir çalışma için, kabin içinde dikkatle kontrol edilen bir hava akımı ön şarttır.

İdeal olarak, boya püskürtme alanında hava durgun olmalı, bu sayede tabancadan çıkış hızı ve elektrostatik kuvvetler toz boya taneciklerini parçaya taşıyan, tam bir kontrol sağlayabilmelidirler.

Ancak uygulama yapılan alan içinde dikkatle kontrol edilen bir hava akımı da bulunmalıdır. Bu kontrollü hava akımı kabindeki açıklıklardan parçaya, oradan da kabin tabanındaki hava çıkışına yönelmelidir.

Bu hava akımı çeşitli amaçlara hizmet eder:

Kabin içindeki toz boya konsantrasyonu patlama sınırının (1 m<sup>3</sup> hava içinde 10 gr. toz) oldukça altında tutar. (Bkz. Bölüm 6. 'Temel Tasarım Gereklileri')

Kabinde biriken toz miktarını azaltır ve toz boya geri kazanım sisteminin ilk safhasıdır.

Bir sınırlama yaratarak, yangın durumunda sadece püskürtme alanının zarar görmesini sağlar.

Kabin içinde negatif basınç oluşturarak, saçılan boyanın dış atmosfere sızmasını önler.

Uygulama kabini civarının temiz kalmasını sağlar.

Kabinden toz boya çıkışını engellediğinden, manuel uygulamalarda operatörlerin çalışabileceği temiz bir ortam sağlar.

Temel amaç bunlardan birincisidir. Bunu sağlamak için gerekli hava hızı, tabancaların hep beraber çalıştıklarında püskürttükleri toz boya miktarı hesaplanarak ve ortalama olarak parça üzerinde biriken toza göre düzeltme yapılarak belirlenmelidir.

Geri kalan amaçlara ulaşabilmek için (2-6), kabin çıkışında 0.4-0.5 m/sn.lik doğrusal bir hava hızı yeterlidir.

Birinci amacı gerçekleştirebilmek daha yüksek bir hava hızı gerektirdiğinde, bu durum kabin tavanına filtre panelleri yerleştirilerek telafi edilebilir.

Uygulama kabinleri metal ya da plastikten yapılabilir. Malzeme seçimi işçilik maliyetleri, kabinden beklenen ömür, inşa kolaylığı, ekonomi ve yasal düzenlemeler gibi yerel koşullara bağlıdır. Avrupa'da ve Türkiye'de genellikle metal kabinler kullanılmaktadır. Bu kabinler uygun boy ve şekilde kolayca imal edilebildiği gibi, uzun bir ömür ve yüksek bir yangın koruması sağlar.

Ancak metal kabinlerin duvarları ve tabanı statik elektrik yüklü toz boya taneciklerini çektiğinden, renk değişimi sırasında yapılması gereken temizlik zaman alır. Metal kabinler toz boya tabancalarının verimini düşürdüğü gibi, metalin kütlesi ve yakınlığı nedeni ile, kaza sonucu elektrik arkı oluşma olasılığını da artırır.

Fiberglastan, akrilikten, polietilen veya bütirat levhalardan yapılan plastik kabinler toz boyayı metal yüzey kadar kolay tutmadığından, daha kolay temizlenebilen bir yüzeye sahiptir. Tabancanın Aktarma Verimi daha yüksektir ve kaza sonucu elektrik arkı oluşma ihtimali daha azdır. Diğer yandan üretilmesi daha zordur ve pahalıdır.

Uygulama kabini ana görevi geri kazanım sisteminin ilk adımını oluşturmak; tozu toplamaktır. Bu amaçla gerekli hava akımı genellikle toz toplayıcıya bağlı bir fan ile sağlanır.

Uygulama kabini boyutları ve tasarımı esas olarak boyanacak parçaların boyut ve şekli, konveyör sisteminin hızı ile belirlenir. Açık ki, otomatik tesislerde tabanca sayısını, düzenini, hareket yörüngesi ve hızını, toz boya besleme oranını, püskürtme şeklini belirlemek amacıyla tasarımdan önce deneme çalışması yapılmalıdır.

Uygulama kabini tasarımı belirlendikten sonra, toz toplayıcı, hava emme fanı kapasitesi, hava boru hattı çapı vs. hesaplanabilir. Toz toplayıcı uygulama kabine olabildiğince yakın olmalıdır. Bu yakınlık, gerekli fan kapasitesi ihtiyacını ve hava tesisatı boyunu en aza indirir.

Genellikle 20 m/sn.lik bir hava hızı saçılan boyayı toz toplamaya taşımaya yeterlidir. Kabin içindeki hava akımı çeşitli şekillerde olabilir. Aşağı çekişli kabinlerde hava kabindeki açıklıklardan girerek, bütün kabin tabanını oluşturan bir huniden çekilir. Bu huni taban toz boyanın birikebileceği köşe ve çıkıntılara sahip olmamalıdır.

Arkadan çekişli kabinlerde, hava kabini gerisinde bulunan bir grup dağıtma paneline doğru çekilir. Hava akımı toz boyanın parçanın etrafından dolaşmasını sağlar. Ancak saçılan toz boya zeminde birikme eğilimi gösterir. Bazı kabinler hem aşağıdan hem de arkadan çekişlidir.

Zemini hareketli uygulama kabinlerinde tabancalar ve yükleme sistemi normaldir, ancak kabini tabanı hareket eden bir konveyör bandından oluşur. Tozlu hava filtre malzemesinden yapılmış bu banda doğru çekilir. Bantın üzerinde biriken toz boya kabini bir ucunda vakumla alınır ve toz boya bir siklon yardımıyla havadan ayrılır. Bu sistemin avantajı; daha az hava ile çalışması, dolayısıyla geri kazanım biriminin daha küçük olmasıdır.

Toz boya Geri Kazanım Sistemi'nin görevi, kabin içine saçılan tozu toplamak ve yeniden kullanım için uygun hale getirmek, aynı zamanda ortama bırakılan hava içindeki tozu almaktır.

Geri kazanım sistemleri iki tip toz toplayıcıya dayanır:

- ✓ Siklon toplayıcılar
- ✓ Filtre toplayıcılar

Her iki sistemi de kullanan bir çok toz toplayıcı tasarımı da mevcuttur.

### **SİKLON TOZ TOPLAYICILAR**

– Siklonun girişi kabin çıkışına, çıkışı da uygun bir tahliye fanına bağlıdır. Kabinden toplanan toz siklon girişine yaklaşık 20 m/sn hızla ulaşır.

Siklona doğrusal olarak giren hava/toz karışımının içeride kazandığı dairesel hareket nedeniyle bir tür girdap oluşur. Bu girdaba giren toz boya taneciklerine merkezkaç bir kuvvet etki eder. Büyük ve ağır tanecikler dışarıya, siklon duvarlarına doğru çekilir, sonra da siklon dibine düşerek buradan boşaltılırlar. Hafif tanecikler hava akımında asılı kalır ve hava akımı ile siklondan çıkarak bir filtre toz toplayıcıya giderler.

Standart bir toz boya için geri kazanım verimi %95'lere kadar çıkabilir. İçindeki 10 mikrondan küçük tanecik yüzdesi yüksek toz boyalarda ise geri kazanım oranı %85'lere kadar düşebilir. Dolayısıyla bir siklonla beraber, sırf ince tozları atmosfere salınmaması için bir filtre grubu da kaçınılmaz olarak bulunur.

Bu sınırlamalarına rağmen, öncelikle renk değişimi yapıyorsa, filtre gruplarına göre, oldukça kolay temizlenebilen siklonlar gayet popülerdir. Ayrıca otomatik, yüksek kapasiteli sistemlerde, siklonlar etrafa saçılan toz boyanın istenen hızda ve sürekli olarak toplanabilmesini mümkün kılar.

Siklonlu toz toplamanın renk değişimi açısından bir diğer avantajı, sürtünme ve çarpışma sonucu siklon duvarlarında toz boya yapışmasının çok az ya da hiç olmamasıdır. Bu demektir ki, renk değişimlerinde çoğu zaman sadece siklonun altında bulunan toz toplama kutusunun temizlenmesi yeterlidir. Çoğu siklonda koniler takılıp sökülebilir ve yedekleri mevcutsa kolayca değiştirilebilir. Daha sonra yedek koni çalışırken kirli koni temizlenebilir.

Geri kazanılan toz boya siklondan döner bir vana (hava kilidi) aracılığıyla boşaltılarak ve bir elekten geçirilerek içindeki boya topları ve yabancı maddelerden arındırılır. Daha sonra geri kazanılan toz boya, yeni boya ile belirli oranda karıştırılarak kullanılır.

Siklon verimi, içinde yüksek bir tanecik hızının sağlanabilmesine bağlı olduğundan, takip eden filtre grubu da gereksinim duyulan hava hızının kararlılığını sağlayabilecek şekilde tasarlanmalıdır.

Filtre malzemesi kolay ve sık temizliğe izin verecek yapıda olmalıdır. Eskiden kullanılmakta olan kumaş filtrelerde toz, sık sık temizlenmesi gereken bir torbanın dışında toplanırdı. Bu durum yüksek kapasitede çalışan bir sisteme uygun değildi.

Daha üstün bir yöntem, bir filtre grubunu metal bir muhafaza içinde, toz filtrelerin dışında kalacak ve filtreler 30 saniyede bir verilen ters yönlü bir hava darbesi ile temizlenecek şekilde düzenlemektir.

Böyle bir filtre grubunun direnci siklonun direnci ile dengelenerek siklonun verimli çalışması sağlanabilir.

## FİLTRE TOZ TOPLAYICILAR

– Bu tür sistemlerde kabinden toplanan boya, içinde bir kaç filtre bulunan bir bölmeye gelir.

Tipik filtre malzemeleri:

- ✓ Kağıt filtreler
- ✓ Plastik filtreler
- ✓ Polyester kumaş

Filtreler toz/hava karışımını filtrenin dışından içine doğru, tozu tutan ve havayı geçiren bir filtre malzemesi katmanı içinden geçirerek tozu havadan ayırır.

Filtrasyon devam ederken toz filtrenin dışında birikir ve toz tutma verimini artırır. Ancak aynı zamanda hava akımına direnç de artar. Filtre direncini kontrol edebilmek için bu biriken toz sürekli olarak alınmalıdır. Tutulan toz boya tanecikleri içerden dışarı bir hava darbesi ile periyodik olarak dökülür. Yüksek hızlı, yüksek basınçlı hava darbesi 0.2 saniyeden kısa sürer ve 30 saniye aralıkla verilir. Filtrenin bir kısmına ve çok kısa bir süre uygulandığından, esas hava akımına pratik olarak hiç bir etkisi olmaz ve sürekli hava akımının özellikleri bozulmaz.

Filtreden hava darbesi ile dökülen boya tanecikleri, elenmek ve sisteme geri döndürülmek üzere bir toz boya kutusuna düşerler.

Filtre toplayıcılar son derece, %99 seviyelerinde etkilidir. Verimin derecesi kullanılan filtre tipine ve temizleme sıklığına bağlıdır.

Hem siklon hem de filtre toz toplayıcılarda geri kazanılan toz boya çıkışına bir hava ve toz yalıtımı, örneğin bir döner vana konmalıdır. Geri kazanılan toz boya elendikten sonra, yeni boyaya üretici tarafından belirtilen sınırı aşmayacak şekilde ve ölçülü olarak karıştırılmalıdır.

Birden çok renk ya da toz boya tipi kullanılan her uygulamada, bir toz boyadan diğerine geçerken kirlenme riski mevcuttur. Ancak iyi düzenlenmiş temizlik talimatları ile bu riski en aza indirmek mümkündür.

Bir renk değişimi yapılırken temizlik sırası, toz boyanın püskürtülürken takip ettiği yolu izlemelidir. Dolayısıyla temizlik toz boya tankından başlamalı, pompalar, enjektörler, hortumlar ve tabancalar ile devam etmelidir. En son da kabin bölmesi ve geri kazanım sistemi temizlenmelidir. Basınçlı hava ile yapılan bütün temizlik işlemleri kabin içinde yapılarak, tozun yayılması, havayı kirletmesi engellenmelidir.

Renk değişimi için gerekli süre, tesis tipi ve konfigürasyonuna bağlı olarak çok değişik olabilir. Çok renkle çalışan, çok sık ve hızlı renk değişimi yapması gereken işletmelerde birden çok kabin bulunması gerekebilir. Buna alternatif olarak bellibaşlı ekipman üreticilerinin çoğu, duvarları polietilen (naylon) tabakasından oluşan ve her renk değişiminde sökülüp yenisi takılarak temizlik gereğini ortadan kaldıran kabinler üretmektedirler.

Siklon geri kazanım sistemleri çoğunlukla kendi kendini temizleyicidir ve çok az bakım gerektirirler.

Filtre sistemlerinde ise, her renk veya toz boya tipi için ayrı bir filtre kullanmak gerekir. Çok renk kullanılıyorsa, bu kadar çok sayıda filtre bulundurmamak pratik olmayabilir.

Tesis tasarımı, konfigürasyonu ve ekipman özellikleri konularında daha fazla bilgi için, istendiğinde belli başlı ekipman üreticilerinin bir listesi sağlanabilir.



*Toz boyalar yaş boyalarla kıyaslandığında, tehlike seviyelerinin oldukça düşük olduğu görülür. Ancak bu durum, teknik emniyet gereklerinin sağlanması mecburiyetini ortadan kaldırmaz.*

Toz boyanın elektrostatik uygulamasında mevcut ana teknik emniyet riskleri şunlardır:

- ✓ Toz patlaması
- ✓ Yangın
- ✓ Elektrik şoku
- ✓ Zararlı maddelere maruz kalma
- ✓ Basınçlı hava

Genel olarak denebilir ki, en güvenli uygulama prosedürleri aynı zamanda en verimli yöntemlerdir. İş emniyetiyle ilgili konular, bütün işletme ve bakım prosedürlerine konulmalıdır. Bu prosedürler işletmenin aşağıdaki faaliyetleri de içeren, her kısmını kapsmalıdır.

- ✓ Toz boyaların depolanması ve nakledilmesi.
- ✓ Parçaların kabin içinde boyanması.
- ✓ Parçaların kabin içerisinden konveyör ile geçirilmesi.
- ✓ Ekipmanın temizlik ve bakımı.
- ✓ Sorun tespit ve çözüme ekipmanı.
- ✓ Sistemin çalıştırılması ve kapatılması.
- ✓ Kontrol göstergelerinin ve regülatörlerin okunması, ayarlanması, kalibrasyonu.
- ✓ Havalandırma basınç verilerinin günlük kaydı.
- ✓ Alarmlara, sistem güvenlik uyarıcılarına tepki.
- ✓ Atıkların uzaklaştırılması.

Toz boya püskürtme işlemleri sadece tesisin bu işe ayrılmış alanlarında, doğru tasarlanmış kabinler içerisinde yapılmalıdır.

Akzo Nobel Toz Boya ürünleri için ürün bazında ya da ürün ailesi bazında Teknik Emniyet Bilgi Formları mevcuttur. Kullanılan boyalar için bu formlar edinilmeli, incelenmeli ve buna göre gerek duyulabilecek önlemler alınmalıdır.

Avrupa Topluluğu "Toz Boya" teknik komisyonu, toz boyaya ilişkin bilimin mevcut durumuna dayanarak, bazı tavsiyeler hazırlamış ve yayınlamıştır.

- ✓ Her toz boya üreticisi, her ürünü için bir Teknik Emniyet Bilgi Formu hazırlamalı; her uygulayıcı da bu formları ürünle birlikte temin ederek gereklerini yerine getirmelidir.
- ✓ Toz boyaların solunması önlenmelidir.
- ✓ Verimli bir havalandırma ile, atölyelerin atmosferinde bulunan tozun olabildiğince azaltılması tavsiye edilir.
- ✓ Toz boya uygulanmasında çalışan personele uygun toz maskeleri sağlanmalıdır.
- ✓ Soluma güçlüğü çeken ya da alerjisi bulunan personel, boya uygulamasında çalıştırılmamalıdır.
- ✓ Toz boya işlemleri yapılan bütün alanlarda sigara içmek, yemek, içmek yasaklanmalıdır.

Halihazırda bütün toz boya uygulama sistemleri en az bir safhasında basınçlı havadan yararlanır. Basınçlı hava kullanım yerine 5.6-7.0 kg/cm<sup>2</sup> basınçla ulaştırılmalıdır.

Havadaki nem, toz boyayı topaklandırarak, film kalınlığının düzgünlüğünü bozar ve malzeme israfına neden olur. Dahası, nem toz boyanın tabanca ve hortumların iç duvarlarına yapışmasına neden olur. Bu birikim sonucu oluşan tıkanma, tabancanın kesik kesik atımına, ve film kalınlığının düzgün olmamasına neden olur.

Hava %77 azot, %20 oksijen ve %1 asal gazlardan oluşur. Havanın geri kalanı yerel çevresel şartlara bağlı olarak su buharı, toz ve diğer parçacıklardan oluşur. Ayrıca havanın sıkıştırılması sırasında yağlayıcılar ve kimyasal katkıları, sıkıştırma sonucu oluşabilen 150-200°C sıcaklıkta buharlaşır. Tabiidir ki, hava sıkıştırılıp toz boyanın iletilmesinde kullanıldığında bu kirleticilerden arındırılmış olmalıdır. Tozlar kirli havadaki nem ve yağ gibi kirleticileri kolaylıkla tutma eğiliminde olduklarından, basınçlı hava çok iyi temizlenmiş olmalıdır.

Nem ve kirletici kontrolünde ilk adım, havanın bir soğutucudan geçirilerek havadaki buharın yoğunlaştırılmasıdır. Bu işlem, havada bulunan buharlaşmış yabancı maddelerin büyük kısmını alır. Basınçlı hava kurutucular ve/veya hava filtreleri de hava besleme hattına yerleştirilir. Ayrıca özellikle hava hattı uzunsa, belirli aralıklarla su alma noktaları konur.

Havanın bağıl nemi %30-40 arasında tutulmalıdır. Daha yüksek bağıl nem toz boyanın topaklanmasına, boya besleme hortumlarında, geri kazanım filtrelerinde tıkanmalara ve toz boyanın püskürtülürken 'atma' yapmasına neden olur. Bir uygulama için en uygun fırının belirlenmesinde boyanacak parçanın ölçüleri, şekli, kalınlığı, yapıldığı malzeme, üretim hızı, işletme maliyeti ve kullanılacak toz boya tipi gibi bir çok faktör göz önünde bulundurulmalıdır.

Toz boyalar reçinenin çapraz bağlanması (polimerizasyonu) ile sertleştiğinden (kürlenme), süre ve sıcaklık kritik faktörlerdir. Bir ölçüye kadar, düşük sıcaklıkta belirli bir süre, daha yüksek sıcaklıklarda daha kısa bir süreye karşılık gelir. Ancak toz boya ikmalcisi tarafından belirtilen kürlenme sıcaklığının, fırın içi hava sıcaklığı ya da fırın sıcaklık göstergesinin gösterdiği sıcaklık değil, parça sıcaklığı olduğu vurgulanmalıdır.

Kullanılmakta olan toz boyaların yapısındaki termoset reçine ve sertleştirici belirli bir sıcaklığın üzerine çıkarıldığında reaksiyona girerek çapraz bağlar oluşturarak, bütün boya yüzey alanında, dayanıklı bir ağ yapı oluşturur. Bu ağ yapı bir inşaat iskelesine benzetilebilir.

Kürlenmenin amacı bu reaksiyonu başlatmak ve toz boyayı jel haline getirerek metal yüzeyi 'ıslatmasını' sağlamaktır.

Fırın, üretim işçiliği verimli olarak kullanılabilir ve en az seviyede bakım gerektirecek şekilde tasarlanmalıdır. Yakıttan azami ölçüde yararlanılmalı ve mümkün olan her yerde, fırından çıkan sıcak hava tekrar kullanılmalıdır.

Sıcaklık, uygun cihazlarla çok hassas olarak, mümkünse 'kürlenme sıcaklığı  $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ' sınırları içinde, kontrol altında olmalıdır. Sıcaklık ölçüm uçları (termokupullar) boyalı parçanın fırında izlediği yola olabildiğince yakın yerleştirilmiş olmalıdır.

Fırın tasarlanırken, daha sonra uzatabilmek üzere ve içinden geçebilecek parça tip ve boyutunu değiştirebilmek üzere pay bırakılmalıdır.

Fırın içindeki hava akımının, tozu parçadan dökecek derecede güçlü olmamasına dikkat edilmelidir. Hava hızının kabul edilebilir sınırları, m/saniye civarındadır.

Eğer fırın gövdesindeki açıklıklar küçük ise, normal bir egsoz bacası uygundur. Ancak fırında nispeten büyük açıklıklar bulunuyorsa, egsoz bacasının sirkülasyon yaparak, ısıyı koruyan türde olması gereklidir.

Uygulamada kürlendirme amacıyla; konveksiyon fırınları, kızılötesi (IR) fırınlar, endüksiyon fırınları ve morötesi (UV) fırınlar mevcuttur.

**Konveksiyon Fırınları** – Bu fırınlar halihazırda en çok kullanılan fırınlardır. Konveksiyon fırınlarında parçayı ısıtmak için ortam havası elektrik veya gaz yakılarak ısıtılır. Isıtılan hava fırın içinde, bir hava akımı yaratılarak, yayılır.

Endirek yanmalı fırınlarda, gaz ayrı bir yerde yakılıp, ısıtılan hava fırın içine verilirken, ‘Direk Gaz’ fırınlarda yanan gaz direk olarak fırının içine verilir. Dolayısıyla, endirek gaz fırınlarında gaz artıkları boya filmine ulaşmayacağından, daha az kusurlu bir yüzey elde edilebilir. Direk Gaz fırınlarda kullanılmak üzere özel olarak geliştirilmiş toz boyalar da her renk ve efektte mevcuttur.

Konveksiyon fırınından tahliye edilen hava, fırın içinde biriken gaz hacmini en az patlama limitinin altında tutacak miktarda olmalıdır.

Fırının iç duvarlarında zamanla is tabakası oluşabileceğinden, özellikle direk gaz fırınlarında, fırın içi düzenli olarak temizlenmelidir. Temizlenmediğinde, bu is tabakası zaman zaman kalkacak ve fırından geçirilmekte olan malzemeyi kirletecektir.

**Kızılötesi fırınlar** - Kızılötesi (IR) fırınlarda ısının, havaya başvurmaksızın, direk olarak parçaya aktarılması verimi, ısıtma hızını ve hassasiyetini büyük ölçüde artırmaktadır. Bu durum bu tür fırınların kullanımını gün geçtikçe yaygınlaştırmaktadır.

Temel olarak, kızılötesi enerji sıcak bir parça tarafından yayılarak, başka bir madde tarafından yakalanıp soğuruluncaya kadar doğru bir çizgi üzerinde hareket eder. Işıma ile ısıtmanın ana avantajı parça ısısının çok hızla yükseltilebilmesidir. Işıma kaynağının ısı arttıkça, kaynaktan yayılan enerjinin içinde ısımanın payı, konveksiyona göre, hızla artar. Her hangi bir maddeden yayılan ışımaya enerjisi o parçanın yüzey alanına, ısısına ve yayıcılık özelliğine bağlıdır.

Orta dalga ışımaya termoset toz boyaların kürlendirilmesi için en etkili kaynağı sağlar. Yayıcı paneller genellikle 850-950°C yüzey ısısına sahip gaz ısıtmalı veya 750-850°C yüzey ısıyı sağlayan elektrik ısıtmalı olarak kullanılırlar. Parça yayıcıdan en az 15 cm, ortalama 30 cm uzaklıkta tutularak ısıtılır.

Açık renkler nispeten daha fazla kızılötesi enerji yansıtarak ısınma süresini uzatacağından, toz boyanın rengi önemlidir. Bu demektir ki her toz boya, en iyi kürlenme koşullarını belirlemek üzere test edilmelidir.

Işıma enerjisi doğrusal bir yol izlediğinden, karmaşık şekilli ve/veya ışımaya kaynağıyla arasında başka bir cisim bulunan yüzeylere sahip parçalar bu şekilde kürlendirilemezler. İdeal olarak kızılötesi kürlendirme, paneller gibi basit parçalar için kullanılmalıdır.

## YÜZEY HAZIRLAMA YÖNTEMLERİ

Toz boya uygulamasından önce metal yüzeylerin hazırlanmasının esas amacı şöyle açıklanabilir

- 1) Yabancı maddelerin tamamen uzaklaştırılması, örneğin kabuk, gres, kesme yağı, kum, kaynak döküntüleri gibi.
- 2) Uygulanacak toz boya için yüzeyin uygun şartlara getirilmesi.
- 3) Yüzey işlem, boyanacak parça yüzeyinin her yerinde homojenliği sağlamalıdır,

Toz boyadan tam verim elde etmek için yüzey işlem aşamasına dikkat etmek esastır.

Boyanmış yüzeyden beklenen spesifik özelliklere göre uygulanacak yüzey işlem değişebilir –tek aşamalı temizlik işleminden çok aşamalı metal yüzey üzerinin başka bir metalle kaplanmasıyla oluşan karmaşık yüzey işlem.

Topraklanmış metal yüzey üzerine elektrik yüklü toz boya taneciklerinin uygulanması, yüzeyin yüksek elektrik direncine sahip herhangi bir kompozisyondan bağımsız olması ile sağlanabilir. Toz boya uygulanacak parça yüzeyinin herhangi bir yalıtkan film ile kaplı olması toz boyanın yüzey üzerinde birikmesini kısıtlar veya bazı durumlarda önler.

**Yüzey-** Çelik, alüminyum, bakır, çinko alaşımlar ve galvaniz kaplı çelik toz boyanın uygulandığı en yaygın metallerdir. Birçok durumda normal servis koşulları uygulandığı zaman tamamen temizlenmiş metal üzerinde tatmin edici özellikler elde edilebilir.

**Çelik-** Demir/çelik yüzeyler için maksimum korozyon ve tuz sprey dayanımı çinko fosfat kaplama ile sağlanır.

**Alüminyum-** Alüminyum ve alaşımları için, temiz yüzey kolaylıkla boyandığı ve yapışma mükemmel olduğu halde kromat kaplama kullanılarak performans artırılabilir.

**Çinko alaşımlar-** Zintec, zamac ve galvaniz kaplı çelikler gibi bütün çinko içeren metaller için uygun fosfat kaplama önerilmektedir.

**Gözenekli dökümler ve kumlamayla temizlenmiş yüzeyler-** Bu tip yüzeyler, havanın gözenekler içinde hapsedilmesinden dolayı yüzeye toz boya uygulandığında ciddi problemler yaratır. Bu sebepten dolayı metalin özellikleri ve film kalınlığı ciddi bir şekilde kontrol edilmelidir. Bazen birkaç dakika ön ısıtma bu hataları giderebilir.

**Oksit ve kabuk alma-** Bu ancak mekanik zımparalama, tel fırça veya daha geniş yüzeyler için kumlama ile sağlanabilir. Aşındırıcı madde olarak kum İngiltere’de olduğu kadar birçok Avrupa ülkesinde de yasaklanmıştır.

Kumun yerini almış olan kaba, bir kullanımlık aşındırıcılar ve tekrar kullanılabilen metalik aşındırıcılara artık talk pudrası kadar ince alüminyum oksit, ceviz kabuğu gibi nebati aşındırıcılar, 25 mikronluk cam boncukları gibi bir dizi yeni aşındırıcı da eklenmiştir. Bu son derece küçük taneli aşındırıcılar ile artık tam bir yüzey düzgünlüğüne erişilebilmektedir. Açık ki, ince taneli bir aşındırıcı ile yüzey işlem çok zaman alıcıdır. Ancak kaba taneli bir aşındırıcı ile yüzey işlem itoz boyanın fırınlamada akışını sınırlayacağından düşük parlaklığa neden olabilir.

Bir fikir vermek gerekirse, kumlanmış bir çelik yüzeyde, ‘tepe-dip’ mesafesi yaklaşık 100 mikrondur. Alüminyum oksit (180/220 no.) ile kumlanmış yüzeyde ise bu mesafe 5 mikron, cam boncuklarla kumlamada ise sadece 1-1.5 mikrondur.

**Yağ ve gres alma-** Metal yüzeylerin boyama için hazırlanmasında genellikle ilk adımdır. Bu operasyonun uygulanmasının birçok yolu vardır ve en çok kullanılan metodların bazıları aşağıda kısaca açıklanmıştır.

**Solvent ile silme-** Gres alınması, boyanacak yüzeyin uygun solventle ıslatılmış bezle silinmesi ile sağlanabilir. Bu metod gresi ve katı maddeleri, önce bez parçası ve sonra solvent kirlenene kadar etkili bir şekilde uzaklaştıracaktır. Daha sonra bu metod sadece gresi yüzeye yayacaktır ve gerçek bir temizlik için bez parçası ve solvent sık sık temizlenmelidir.

Bu metod küçük miktarda üretimler için pratik ve uygun olmasına rağmen işçiliği fazla ve pahalıdır ve seçilen solvente bağlı olarak sağlığa zararı veya yangın riski olabilir.

**Solvente daldırma-** Bu metotta parça, içi solvent dolu tanka daldırılır ve çıkarıldıktan sonra solvent buharlaştığı zaman bütün yağ ve gres temizlenmiş olmalıdır.

Bu metod solvent ile silme metodunda olduğu gibi solvent, yağ ve gres ile doymuş hale gelince parça üzerinde mevcut olandan daha fazla yağ ve gres birikir. İki metod arasındaki tek fark bu yağ tüm parça üzerine yayılır.



Tekrar kullanılan solvente bağlı olarak sağlığa zararlı olabilir veya yangın tehlikesi yaratabilir. Solvent ile silme veya solvente daldırma metodlarının ikisi de önerilmemektedir.

**Solvent buharı ile yağ alma-** Bu teknikte, parça özel dizayn edilmiş bir fabrika içinde trikloretilen gibi klorlanmış solvent buharında bekletilir ve solvent buharının soğuk metal yüzey üzerinde yoğunlaşmasıyla yüzeydeki gres ve yağ çözümlenmesini sağlar. Parçalardan akan gres ve yağlı sıvı solvent toplama haznesine geri döner.

Bu proses çok daha etkilidir çünkü yoğunlaşan solvent buharını telafi etmek için solvent sürekli olarak buharlaştırılır.

Kendi başına bu metod yağ almada etkilidir fakat yüzey üzerinde kalmış katı parçacıklar bütün gres ve yağlar uzaklaştırıldıktan sonra bile oldukları yerde dururlar.

Ultrasonik karıştırma kullanılarak veya hazneye toplanan sıvının da buharlaşmasını sağlayarak gelişmeler elde edilebilir. Buna ek olarak verimi artırmak için klorlanmış solvent içine özel katkıları ilave edilebilir.

**Deterjan-** Parça, uygun deterjanın sıcak su içinde çözünmesiyle hazırlanmış çözelti içine daldırılabilir veya tercihe göre spreylenebilir ve sonra durulanıp kurutulur. Bu yöntem hafif kirleri uzaklaştırır fakat eskiden kalan gres ve ağır yağları temizleyemez.

**Emülsiyon temizleyiciler-** Emülsiyon temizleyiciler, genellikle önceden emülsifiye edilmiş gazyağı/su emülsiyonları veya suyla karıştırıldığında emülsifiye olan gazyağı bazlı konsantrasyonlardır. Alkali temizleyiciler gibi, emülsiyonlar sprey ekipmanları içinde kullanıldıklarında çok etkili olurlar fakat daldırma yönteminde oldukça etkilidirler.

Emülsiyon temizleyiciler normalde alkali temizleyicilere göre daha düşük sıcaklıklarda uygulanır ve bazı durumlarda ortam sıcaklığında da uygulanabilir.

**Alkali temizleyiciler-** Boyanacak parça uygun alkalilerin karışımından oluşmuş sıcak solüsyona daldırılabilir veya üzerine spreylenebilir. Daha sonra iki kere durulanır ve kurutulur. Sprey uygulama daldırmadan daha etkilidir ve yüksek uygulama sıcaklıklarında (70-90°C) daha ekonomiktir ve karışım bir sonraki uygulamayla birlikte kullanılabilir. Sprey uygulama 5-60 saniye sürerken daldırma 1-5 dakika sürer. Daldırma temizleyiciler gres ve yağ emülsifiye ederek parçaları. Alternatif olarak bazı temizleyicilerde ise yağlar yüzeyden ayrıştırıldıktan sonra katman halinde temizleyici yüzeyinde yüzer durumda birikirler.

Alkali temizleyiciler gres, yağ ve kumları etkili bir şekilde uzaklaştırırlar ve en zor kirlerin de üstesinden gelirler.

Etkili bir temizleme sağlamak için özellikleri ayarlanabilen birçok alkali temizleyici vardır. Bu temizleyiciler, çelik yüzey üzerine uygulanmış fosfat kaplamanın ince taneli kristal bir yapıya sahip olduğundan emin olabilmek için sık sık ajanlar içerirler.

Bir yere not edilmelidir ki, sadece kontrol altındaki alkali temizleyiciler hafif alaşımlar, çinko, galvaniz metal veya alüminyum için uygundur.

**Asit temizleyiciler-** Sülfirik veya hidroklorik asit içeren asit temizleyiciler pas ve kabukları tamamen temizler ve yüzeyi kondüsyona sokar. Bu metod genellikle demir veya çelik yüzeylere uygulanır.

Sıvı temizleme metodları uygulandıktan sonra en çok önem verilmesi gereken unsur, yüksek standartlardaki durulama işleminden sonra kurumuş ve temizlenmiş parçalar üzerinde asit, alkali veya emülsiyon gözlemlenmemek. Ayrıca bu işlemin arkasından kaplama yapılmayacak ise yüzeyin paslanmasını önlemek için parça hızlı ve etkili bir şekilde kurulanmalıdır.

**Fosfat kaplama-** Çelik yüzeyler için en yaygın yüzey işlem tipi toz boya uygulamasından hemen önce uygulanan ve kullanılacak toz boya ağırlığına göre değişkenlik gösteren fosfatlamadır.

Kaplama ağırlığı arttıkça elde edilen korozyon direncinin derecesi de artar; kaplama ağırlığı azaldıkça ise mekanik özellikler artar. Bu sebepten dolayı mekanik özellikler ile korozyon direnci arasındaki dengeyi ayarlamak önemlidir. Yüksek kaplama ağırlıkları toz boya uygulandıktan sonra yüzeye bükme, darbe gibi mekanik kuvvetler uygulandığında kristal çatlamalara sebep olabilir.

Toz boyanın fosfat kaplamaya yapışmasının mükemmel olmasına bağlı olarak, bağların kopması genellikle, fosfat/metal yüzeyler arasında toz boya/fosfat yüzeyler arasından daha fazladır.

Fosfat kaplama BS3189/1959'a göre uygulanır; çinko fosfat için Class C ve demir fosfat için Class D.

Çinko fosfat 1-2 g/m<sup>2</sup>, demir fosfat 0.3-1 g/m<sup>2</sup> olarak tavsiye edilir. Uygulama sprey veya daldırma olarak yapılabilir. Kromat pasifleştirme genellikle gerekmez.

Demir fosfat kaplama normalde sprey olarak üç veya dört aşamalı operasyonlarla uygulanır. Parça genellikle kurutmadan önce iki su durulama bölümünden geçirilir.

Çinko fosfat beş aşamalı bir operasyonla (alkali yağ alma, durulama, çinko fosfat, iki suyla durulama) daldırma veya sprey olarak uygulanabilir.

Parça fosfatlandıktan ve kurutulduktan sonra en kısa zamanda toz boya ile boyanmalıdır.

**Çinko yüzeyler için yüzey işlem-** Hafif ağırlıkta çinko fosfat kaplama önerilmektedir. Genellikle elektrodepozit çinko kaplamalar hiçbir yüzey işlem problemi çıkarmazlar fakat sıcak daldırılmalı galvaniz kaplama yapışmayı etkileyebilir. Pullanmanın derecesini artırmak yapışma karakteristiklerini azaltır.

**Kromat kaplama-** Alüminyumlar ve alaşımları için en önemli kaplama tipi kromatlamadır.Kromatlama renksiz veya sarı kromium oksit veya yeşil kromik fosfat tipi olabilir. Önerilen miktar 0.1 - 0.5 g/m<sup>2</sup>'dir.

Beş aşamalı proses alkali yağ alma, durulama, kromat kaplama ve bunu izleyen iki durulama aşamasından oluşmaktadır.

Daha önce de belirtildiği gibi kromat kaplama maksimum yapışmanın sağlanabilmesi için düşük film ağırlığında olmalıdır.

Yüksek kaliteli uygulamalar için genellikle final durulama minerallerden arındırılmış su ile yapılmalıdır. Daha sonra temizliğinden emin olmak için final durulama suyunun iletkenliği görüntülenmelidir.

**Ağır-metal içermeyen yüzey işlemler-** Gelişen dünyamızda artan katı çevre standartları nedeniyle ağır metal içeren yüzey işlemlerden, özellikle kromatlama, uzaklaşmaktadır.Önceden kromat içermeyen yüzey işlemler zayıf performansa sahipti fakat son zamanlarda standartlar ilk kanıtlarla birlikte geliştirilmiştir. Çünkü mimari alüminyum uygulamaları üzerinde kullanılarak Qualicoat organizasyonu tarafından 1996 yılında ödüllendirilmiştir.

**Sıvı atıklar-** Yöre otoriteleri sıvı atıklar ile ilgili değişik standartlar ile çalışmaktadırlar. Fakat bu standartlar günden güne daha katı ve kısıtlayıcı olmaktadır.

Genellikle demir fosfat solüsyonları hiçbir arıtma yapılmadan atılabilirler. Çinko fosfat solüsyonları ise genellikle su ile seyreltilerek istenilen konsantrasyon seviyelerine getirilmek zorundadırlar.

Bazı son durulama suları çevreye toksik etkisi olan kromat içerdiğinden özel arıtma gerektirirler.

## TERMOSET TOZ BOYALAR

Her türlü toz boya için kesin başarı, sadece daha önce açıkladığımız uygulama ekipmanı parametrelerine değil, aynı zamanda kullanılan toz boyanın tabiatına, içeriğine ve tozun durumuna da bağlıdır.

Halihazırda toz boya satın alırken bir çok seçenek mevcuttur, ve nihai seçim boyanacak parçadan beklenenlere bağlıdır.

Termoset sistemlerde polimer (reçine), eriyerek yayılan ve aynı zamanda termoset (kürlenmiş, çapraz bağlanmış) yapıya doğru dönüşen, düşük moleküler ağırlıklı tiplerdendir. Bu yapıya bir kere ulaşıldıktan sonra, boya filmi tekrar eritilerek eski haline getirilemez.

Termoset toz boyalarda, çapraz bağlanma reçinenin ve sertleştiricinin fonksiyonel (reaktif) grupları arasında meydana gelir. Tabiidir ki, düzgün bir yüzey elde edebilmek için, kürlenme başlamadan önce polimer eriyerek yayılmalı ve pürüzsüz bir yüzey oluşturmalıdır.

Değişmez olarak, bir toz boya yumuşama sıcaklığı ile eriyik akışkanlığını ya da film oluşturma karakteristikleri ile çapraz bağlanma hızını dengeleyen bir arayol biçiminde formüle edilir. Solvent bazlı boyalarda olduğu gibi toz boyalar da parlak veya mat, metalik alüminyum, bronz, pütürlü veya dövme gibi dekoratif özelliklerde üretilebilir.

**Toz Boyanın Bileşimi** – Termoset toz boyaların üretiminde kullanılan başlıca bileşenler şunlardır:

- ✓ Polimer (reçine),
- ✓ Sertleştirici, katalizör, kürlendirme veya çapraz bağlanma katkısı,
- ✓ Yüzey düzleştirme katkısı

Bu bileşenlerin seçimi şu faktörlerden etkilenir:

- ✓ Parlaklık, renk, sertlik, esneklik, yapışma, ve kimyasal direnç gibi film özellikleri,
- ✓ Uygulama tekniği,
- ✓ Kürlenme süresi ve sıcaklığı.

**Polimer (Reçine)** – Toz boyalarda reçinelerin katı tipleri kullanılır. Doğru kalitede reçine seçimi erime noktası, akışkanlık, yayılma ve film performansı gibi özellikleri belirlediğinden son derece önemlidir. Genellikle yumuşama noktası 70-110°C arısında olan reçinelerden yararlanır. Daha düşük yumuşama sıcaklığına sahip reçinelerin kullanılması toz boyanın depolama esnasında katılaşmaya meyilli olmasına, sivri köşelerde örtücülüğün düşük olmasına neden olur. Ayrıca, toz boya üretimi sırasında reçinenin maruz kaldığı sıcaklıklarda reçine ile sertleştirici arasında reaksiyonun başlama ihtimali mevcuttur. Aksine yumuşama noktası yüksek reçineler seçildiğinde ise toz boya portakallanma yapmaya meyilli olur.

**Sertleştirici, katalizör, çapraz bağlama veya kürlendirme katkısı** – Üretim, uygulama, kürlendirme yöntemleri, ve boyadan beklenen performans belirli bir reçine ile beraber kullanılacak sertleştiricinin seçiminde etkili olan faktörlerdir. Sertleştirici oda sıcaklığında reaktif olmamalı, 100°C sıcaklığa kadar kısmi reaktif olmalı, bu sıcaklıktan 180°C sıcaklığa kadar tam reaktif olmalıdır. Kürlenme hemen olmamalı, reçinenin eriyip yayılmasına ve yüzey oluşturmaya zaman tanımalıdır. Çok uzun kürlenme süreleri de ticari olarak ekonomik olmayacağından uygun değildir.

**Pigment ve dolgu** – Halihazırda solvent bazlı boyalarda kullanılmakta olan pigmentler, kimyasal olarak asal, ışığa ve sığa karşı dayanıklı olduğu sürece toz boyalarda kullanıma da uygundur.

Beyaz, açık ve pastel renklerin hemen tamamında titanyum dioksit kullanılır. Siyahlar ve griler için karbon siyah kullanılır. Daha renkli boyalarda ise çok çeşitli organik veya inorganik pigmentler kullanılır. Bu pigmentlerde ağırlık, sağlığa zararlı ağır metal içeriği daha düşük olan organik pigmentlere doğru kaymaktadır. Ancak bazı organik kırmızılarda işlem sırasında reaksiyona girme, dolayısıyla tonunu ve parlaklığını kaybetme eğilimi vardır. Metalik görüntülerin elde edilmesinde alüminyum ve bronz tozları kullanılır.

Bazı inorganik dolgu maddeleri parlaklık, yüzey düzgünlüğü ve film özelliklerini azaltmadan toz boyaya eklenebilir. Dolguların yüksek yoğunluklu olmaları hammadde maliyetini düşürürken, metrekare başına sarfedilen boya miktarını olumsuz etkiler. Bu nedenle boya ekonomisine, ‘metrekare başına maliyet’ açısından yaklaşmak yanlıgıyı önlr. Bazı diğr dolgu tipleri toz boyanın görünüşünü ve parlaklığını ayarlamak için kullanılabilir.

**Akışkanlaştırma katkısı** – Doğru reçine-sertleştirici-pigment sistemini seçtikten sonra, film özelliklerini uygulama ve kürlendirme koşullarına göre ayarlamak gerekir.

Genellikle akışkanlaştırma katkısı ekleme gereği vardır. Çünkü aksi taktirde sıklıkla portakallanma, kraterlenme ve iğne delikleri görülür. Akışkanlaştırma katkısı reçinenin yüzey gerilimini düşürerek yüzeyin daha pürüzsüz olmasını sağlar. Bu amaçla akrilik polimerler ve diğr reçine benzeri malzemeler başarıyla kullanılmaktadır.

Zaman zaman boya çabuk akma eğiliminde olur ve sivri köşeleri yeterince kapatamaz. Akmayı engellemek ve yeterli örtücülüğü sağlamak için, montmorillonite’in organik türevleri, örneğin ‘Bentone’ ince silika gibi tiksotropik katkılar veya diğr bazı dolgu malzemeleri kullanılabilir. Ancak parlaklık ve renk gibi diğr fim özellikleri de etkileneceğinden, bu katkılar dikkatle seçilmelidir.

**Epoksi toz boyalar** yüksek parlaklık, yüzey düzgünlüğü, mükemmel yapışma, esneklik ve kimyasal dayanım sağlayacak şekilde formüle edilebilirler. Temel zaafiyetleri yüksek sıcaklıklarda ve gün ışığında sararma eğiliminde olmalarıdır. Dahası, dış ortam şartlarına maruz kaldığında çabucak tebeşirleşirler. Ancak dış ortam şartlarında film bütünlüğü mükemmeldir. Epoksi toz boyaların kürlenme reaksiyonu birleşme mekanizmasına sahiptir ve fırınlama sırasında hiç gaz salmazlar.

**Polyester toz boyalar** mükemmel bir dış ortam dayanımı ile beraber UV (morötesi) ışına altında, uzun fırınlama sürelerinde ve yüksek sıcaklıklarda epoksi toz boyalara göre yüksek bir sararma dayanımı sergilerler. Genel olarak kimyasal dayanımları epoksilere göre bir ölçüde daha düşüktür.

**Epoksi-Polyester toz boyalar**, termoset toz boyaların en çok kullanılan tipleridir. Toz boyada epoksi reçine polyester reçinenin sertleştiricisi olarak çalışır. Reçinelerin seçimine ve orantılarına bağılı olarak epoksi-polyester toz boyaların özellikleri, epoksi ve polyester toz boyaların özellikleri arasında bir noktada bulunur. Yapısında epoksi reçine bulunması dolayısıyla dış ortamda kullanıldığında tebeşirleşme eğilimi vardır.

**Poliüretan toz boyalar**, genel olarak iyi fiziksel ve kimyasal özellikler ve iyi dış ortam dayanımı sağlarlar.

Tablo 1 ana termoset toz boya tiplerinin temel özelliklerini karşılaştırmaktadır.



## **TOZ BOYALARIN TEKNOLOJİK GELİŞİMİ**

Toz boyaların ortaya çıkışı genellikle, 1960-70'li yıllarda çevresel ve ekolojik duyarlılığın ortaya çıkışıyla bağdaştırılır. 1966 yılında Los Angeles'ta yürürlüğe konan bir yasa, boyaların ekolojik yönünü göz önüne alan ve kısıtlayan ilk yasadır. Sonraları bunların sayısı hızla artmıştır.

Diğer yandan toz boyalarla ilgili ilk geliştirme çalışmaları 1950'lerde, toz halindeki polietilenin akışkan bir yatak içinde, önceden ısıtılmış bir metal yüzeye uygulanması ile başladı. Kısa süre sonra PVC ve naylon toz boyaların akışkan yatak uygulamasıyla kullanımı ABD'de popülerite kazandı.

1950'lerin sonlarında Shell'in yaptığı çalışmalar sonucu ilk termoset toz boyalar ortaya çıktı. Bu şirketin asıl amacı kendi yeraltı petrol ve doğal gaz boru hatlarında kullandığı borular için koruyucu ve dayanıklı organik boyalar geliştirmek idi.

1964 yılında ilk Epoksi toz boyalar Avrupa pazarına çıktı. Aynı dönemde elektrostatik toz boya uygulama sistemi Fransa'da geliştirilerek piyasaya çıktı.

Epoksi toz boya sistemlerinin özellikle morötesi (UV) ışımaya duyarlılığı, 1970 yılında ilk polyester esaslı toz boyaların ortaya çıkmasına neden oldu.

1971 yılında kaydedilen büyük bir gelişmeyle ilk epoksi-polyester toz boya geliştirildi. Aynı yıl Avrupa'da geliştirilen akrilik toz boya sistemi, Avrupa'da başarılı olamamasına rağmen Japonya'da önemli bir pazar payı elde etti.

Günümüzde mevcut toz boya sistemlerinin dünya pazarındaki yeri Tablo 2.de görülmektedir.

	Avrupa	ABD	Uzak Doğu
<b>Epoksi</b>	15	23	20
<b>Epoksi/Polyester</b>	57	25	38
<b>Polyester/TGIC</b>	24	22	10
<b>Poliüretan</b>	4	28	24
<b>Akrilik</b>	-	2	6

Tablo 2. Toz Boya Sistemleri Pazar Dağılımı

Tablo 1: Toz boya performans karakteristiklerinin karşılaştırılması

Özellik	Toz Boya Tipi						
	Standart Polyester	Geliştirilmiş Polyester	Epoksi	Hibrid	Poliüretan	Akrilik	PVDF
<b>Dış Dayanım</b>	İyi	Mükemmel	Çok Zayıf	Zayıf	İyi	Mükemmel	Mükemmel
<b>Korozyon Dayanımı</b>	İyi	İyi	Mükemmel	İyi	İyi	İyi	İyi
<b>Darbe</b>	Mükemmel	Zayıf	Mükemmel	Mükemmel	İyi	Zayıf	Mükemmel
<b>Esneklik</b>	Mükemmel	İyi	Mükemmel	Mükemmel	İyi	İyi	Mükemmel
<b>Yapışma</b>	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel	Zayıf*
<b>Fiyat</b>	Orta	Orta/Yüksek	Orta	Düşük	Orta	Yüksek	Yüksek
<b>Film Görünümü @50µ</b>	İyi	Çok İyi	İyi	İyi	Mükemmel	İyi	Zayıf
<b>Uçucu Buharlar</b>	Çok Düşük	Çok Düşük	Çok Düşük	Çok Düşük	Düşük	Çok Düşük	Çok Düşük
<b>Düşük Fırınlama</b>	Yes	No	Yes	Yes	No	Yes	No
<b>Kimyasal Dayanım</b>	İyi	İyi	Mükemmel	Çok İyi	İyi	Çok İyi	İyi
<b>Parlaklık Aralığı</b>	10-95%	20-95%	5-90%	5-90%	5-95%	30-90%	30-60%
<b>Isı Dayanımı</b>	Çok İyi	İyi	Zayıf	İyi	Çok İyi	İyi	İyi
<b>Aşınma</b>	İyi	İyi	Çok İyi	İyi	İyi	İyi	Zayıf
<b>Uyusurluk</b>	İyi	İyi	İyi	İyi	İyi	Çok Zayıf	Çok Zayıf

## **TOZ BOYANIN ÜRETİMİ AŞAĞIDA AÇIKLANAN, ÇEŞİTLİ BAĞIMSIZ SAFHALARDAN OLUŞUR;**

**Reçine tane büyüklüğü dağılımı** – Reçine önce bir çekiçli değirmen veya benzeri bir ekipmanda öğütülerek tane boyutları daha sonraki prosese uygun hale getirilir.

**Ham maddenin karıştırılması** – Öğütülen reçine daha sonra diğer katkılarla karıştırılarak homojen bir karışım elde edilir.

**Ekstrüzyon (yoğurma)** – Karışım, gövdesi belirli bir sıcaklıkta tutulan bir ekstrudere (yoğurucu) beslenir. Gövde sıcaklığı reçineyi ancak eritecek bir sıcaklıkta tutulur. Yüksek sıcaklık yüksek bir eriyik akışkanlığı, düşük karıştırma ve pigment dağılım verimi, dolayısıyla parlaklığı düşük bir toz boyaya neden olur. Daha sonra besleme hızı ve ekstruder hızı birbirine göre ayarlanarak ekstruder gövdesinin hep dolu olması sağlanır. Bu üç parametre dikkatle ayarlanarak ekstruder içinde karıştırma ve etkili bir dağılım sağlanır ve sürdürülür. Eriyik karışım ekstruderden çıkarken soğutma merdanelerinden geçirilerek ince bir tabaka haline getirilir ve sonrasında 10-20 mm büyüklüğünde parçalara (cips) kırılır.

**Öğütme** – Cipslerin toz boya uygulamasına uygun parçacık dağılımına getirilmesi için bir kere daha öğütülmesi gerekir.

Modern değirmenlerde bulunan bir sınıflandırıcı ile büyük taneler sürekli olarak değirmene geri beslenir.

**Eleme/sınıflandırma** – Toz boya üretim metodu ne olursa olsun son safha eleme/sınıflandırma safhasıdır.

Toz boya için ideal tanecik büyüklüğü dağılımı, toz boya uygulama yöntemine bağlıdır.

**Toz boyaların depolanması** – Toz boyalar elendikten sonra, ortam toz ve neminden etkilenmemesi için iyi kapatılmış muhafazalar içinde, kuru bir yerde depolanmalıdır. Bütün diğer tozlarda olduğu gibi, toz boyada nemi kapma ve tutma özelliğine sahiptir, ancak nemli boya uygulandığında yüzey kusurları oluşacaktır.

Normal olarak taşınırken toz boyalar, karton kutu veya teneke fiçiler içine konan polietilen torbalara doldurulur. Dolayısıyla, içinden toz boya alındıktan sonra polietilen torba sıkıca kapatılmalıdır. Uzun süreli depolamada toz boya tesisin durumuna göre düşük sıcaklıklarda, tercihan 25°C sıcaklığın altında, tutulmalıdır. Toz boya sürtünmeye bağlı ısı ile kürleneceğinden, tozun hareketli parçalara ulaşması önlenmelidir.

**Tanecik büyüklüğü** – Toz boyanın en önemli fiziksel gereklerinden birisi tanecik boyutu ve dağılımının uygulama metoduna uygun olmasıdır.

Termoset toz boyaların çoğu elektrostatik püskürtme ile uygulandığından toz boya taneciklerinin elektriksel yük ile yüklenebilecek özellikte olması gerekmektedir. Yükleme boya tanecikleri ile boyanacak yüzey arasında elektrostatik çekim oluşturacak kadar yeterli olmalıdır.

Ayrıca toz boyanın akışkanlığı da çeşitli transfer taleplerini karşılaması için (örneğin üreticiden müşteriye, konteynırdan depolama tankına) dikkate değer önem taşır. Bloklaşma ve topaklanma mutlaka önlenmelidir.

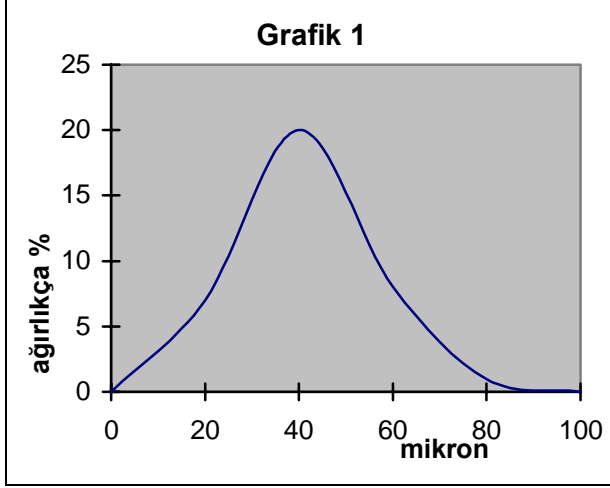
Toz boya akışkanlığı taneciklerin şekil ve büyüklüğü kadar yapılarına ve depolama şartlarına da bağlıdır.

Yüksek sıcaklık gibi kötü şartlar altında bazı tanecikler değişime uğrama eğilimindedirler, bu da taneciklerin bloklaşmasına sebep olabilir.

Boyanın akışkanlığı önemli ölçüde tanecik büyüklüğü dağılımına bağlıdır. Günümüzde çoğu termoset toz boya elektrostatik sprey ile uygulanmaktadır. Birçok ticari toz boya 2-100µ arasında tanecik büyüklüğüne sahiptir ve dağılım 30-40µ arasında tepe noktasına ulaşır. Bu toz boyalar makul akma karakteristiklerine sahiptir.

Daha geniş dağılıma sahip boyaların geri dönüş verimi, dağılımı dar olanlara göre daha düşük olacaktır. Ayrıca daha geniş dağılıma sahip boyalarda geri dönüşten gelen boyanın tanecik dağılımı kullanılmamış toza göre çok daha farklı olacaktır.

**Film kalınlığı** – Toz boya tanecik büyüklüğü ile film kalınlığı arasındaki ilişki çok önemlidir. Genelde bütün termoset toz boyalar değişik büyüklük ve tanecik büyüklük dağılımına sahip düzensiz şekilli, çok kenarlı taneciklerden oluşur. Grafik-1 epoksi toz boyaya ait tipik tanecik büyüklük dağılımını göstermektedir.



Düzgün, pürüzsüz film elde etmenin en ideal yöntemi, toz boya taneciklerinin, erimesi ve çapraz bağlar oluşturmasından önce yüzeyde mümkün olduğunca birbirine yakın olmalarıdır. Böylece hava kabarcıklarının, deliklenme ve portakallanmanın oluşması minimize edilmiş olur.

Genel olarak, dar tanecik dağılımı ile, ve özellikle düşük ortalama tanecik boyutu (örneğin 10-20 $\mu$ ) ile, düzgün bir yüzey elde etmek daha kolaydır. Ancak, düşük tanecik boyutlu bir toz boyanın mevcut uygulama ekipmanlarında kullanılabilmesi için özel olarak formüle edilmesi gerekir.

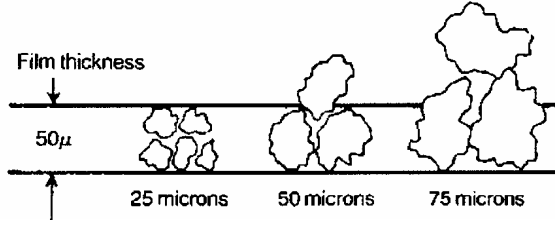
Açıkça anlaşılmaktadır ki tanecik büyüklüğü, şekli ve büyüklük dağılımı boyanın kalitesini ve görünümünü etkilemektedir. Küçük tanecikli boyalar büyük tanecikli boyalardan daha fazla yük kabul ederler. Bu yüzden, yüklenmiş tanecikler ile boyanacak parça arasındaki çekim kuvveti daha fazladır. Böylece taneciklerin yüzeyde birikmesi ve yüzeyi sarması daha iyidir.

Fakat faraday kafesi etkisinden dolayı tanecik boyutu küçüldükçe taneciklerin boşluklara ve aralara girme eğilimi azalır.

Sıcaklık (°C)	Film Kalınlığı ( $\mu$ )
Ortam sıcaklığı	25-125
50	125-150
80	150-225

Yukarıdaki tabloda gösterildiği gibi boyanacak parçanın önceden ısıtılmasıyla film kalınlığı artırılabilir.





Şekil 4. Toz boya tanecik büyüklüğü

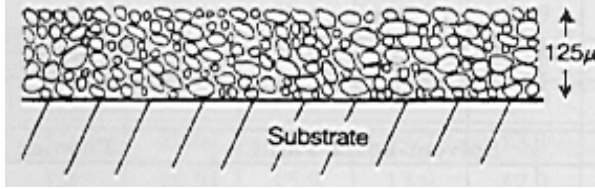
Şekil - 4 film kalınlığı ile tanecik büyüklüğü arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Eğer polimer mükemmel akma karakteristiğine sahip değil ise 50-75μ'dan daha büyük tanecikler ile 50μ kalınlığında toz boya filmi elde etmek oldukça zordur.

Tablo-3 ise (10-40μ) ve (50-100μ) boyutundaki toz boya taneciklerinin arasındaki temel farkı özetlemektedir.

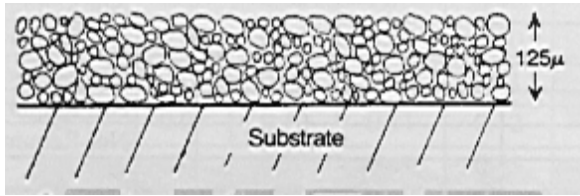
<b>Tablo 3.</b>		
<b>Toz Boya</b>	<b>İnce</b>	<b>Kalın</b>
Kuru akma	Kontrol edilebilir	Mükemmel
Ambalaj stabilitesi	Kontrol edilebilir	İyi
Nem hassaslığı	Yüksek	Düşük
Yangın/patlama riski	Biraz yüksek	Biraz düşük
Sprey uygulama kolaylığı	Kontrol edilebilir	Mükemmel
Geri kazanım verimliliği	~%95	>%95
Film kalınlığı	Opak ince filmler elde etmek daha kolay	40μ'dan düşük filmler elde etmek zor
Film görünümü	Daha az portakallanma. Yüksek parlaklık mümkün.	Düşük film kalınlıklarında kötü görünüm
Kg başına tutunma	Yüksek	Düşük

**Film oluşması** – Film oluşturma mekanizması, Şekil 5.te sırayla gösterildiği gibi boyanın toz halden kürlenmiş filme dönüşmesi olarak tasavvur edilebilir.

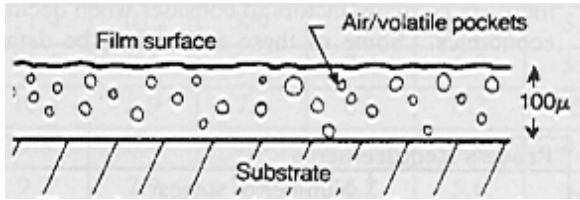
Şekil 5. Toz boyanın film oluşturma mekanizması



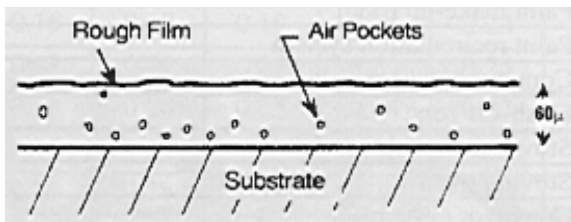
- a) Yüzeyde toplanan heterojen toz boya karışımı, aralarında küçük hava boşluklarının bulunduğu yük kolonları ve kubbelerden oluşan düzensiz geçici bir yapı oluştururlar.



- b) Isı uygulandığında daha yuvarlak taneciklere doğru ilk polimer deformasyonu başlar, daha sonra komşu tanecikler eriyerek birleşirler ve belki sıkışmadan dolayı küçük hava boşlukları birleşerek daha az sayıda büyük kabarcıkları oluşturabilir.



- c) Hava kabarcıkları genişip yüzeye doğru hareket ederken polimer tanecikleri film oluşturmak için yayılmaya başlarlar. Eğer film yüzeyi hala akışkan ise hava kabarcıkları yüzeye doğru hareket ederek yüzeyden çıkmaya çalışırlar. Kürlenmenin bu aşamasında polimerlerin hareketliliğinden dolayı oluşan deliğin tamamı veya bir kısmı krateri çevreleyen polimerler tarafından doldurulur.



- d) Eğer polimer çapraz bağlanma oranı çok hızlı olursa birçok hava kabarcığı boya filmini terk edemeden film oluşur. Hatta tam hava kabarcıkları yüzeyi terk ederken film oluşma ihtimali vardır. Böylece pütürlü ve parlaklığı düşük yüzeyler elde edilir.

**Çok sıklıkla sorulan bir sorudur: “Toz boya kullanmak, sıvı sanayi boylarına göre daha ucuz mu, pahalı mıdır? Hangi prosesin daha makul olduğunu değerlendirmek için, bu alternatif boya uygulamalarının teknik avantajları göz önünde bulundurulmalıdır.**

Ekonomi açısından göz önünde bulundurulması gereken faktör sayısı çok olduğundan, her alternatif bağımsız olarak değerlendirilmelidir. Bu faktörlerin bir kısmı maliyet olarak ortaya çıkabilir, fakat diğer bazıları daha çok operatörlerin, sendikaların ve işletme yöneticilerinin ilgisini çekebilecek, estetik faktörlerdir.

Aşağıdaki ‘Kontrol Tablosu’ basit bir uygulama hattını bölümlere ayırmaktadır. Çoğu durumda, bu bölümlere ilişkin maliyetler mevcut olmasa bile hesaplanabilir.

Maliyet değerlendirmeleri şu başlıklar halinde gösterilmelidir:

1. Yatırım
2. Uygulama maliyeti
3. Uygulanan birim alan başına malzeme maliyeti

Proses Gerekleri		Sıvı Boya	Toz Boya
Yüzey işlemler	Kademe sayısı Kimyasal tipi Pasivasyon Kurutma fırını Boyadan önce soğutma		
Uygulama kabin(ler)i			
Püskürtme tabancası/tabancaları			
Toz toplama sistemi		Gerektirmez	
Saçılan boyanın arıtılması			Gerektirmez
Solvent uzaklaştırma			Gerektirmez
Uygulama alanına temiz hava beslemesi			Gerektirmez
Boya rütuş odası			Gerektirmez
Boya geri dolaşım sistemi			
Basınçlı hava kaynağı			
Flash-off bölgesi			Gerektirmez
Fırınlama süresi			
Fırın tipi			
Konveyör sistemi			
Boya hattı için gerekli toplam zemin alanı			
Hammadde stoğu için gerekli zemin alanı			
İmalat işçilik maliyeti			
Düzenli bakım işçilik maliyeti			
Genel bakım işçilik maliyeti			
Boya viskozitesini düzenleme işçilik maliyeti			Yok
Litre/kg başına boya maliyeti			
Gerekli film kalınlığına ulaşmak için gereken uygulama sayısı			
İstenen film kalınlığında birim alan örtücülük			
Redleri yeniden boyama maliyeti			
Boyanmış parçaları ambalajlama maliyeti			

**Maliyet karşılaştırması için gerekli veriler** – Boyama için toz boyanın seçilmesini etkileyen üç ana faktör şunlardır;

1. Ekonomi – maliyet tasarrufu
2. Kirliliğin azaltılması
3. Yüksek boya performansı

Normal olarak nihai karar ekonomik avantaja bağlıdır. Diğer avantajlar artı bir kazanç olarak görülür.

**Toz boyaların maliyetleri hesaplanırken, ‘fiyat/kg’ bakmak yerine, ‘fiyat/m<sup>2</sup>’ye bakmak çok önemlidir.**

(Tablo 4 ve 5)

Bu tablolar toz boyanın %100 kullanıldığı varsayılarak hesaplanmıştır. Normal bir toz boya tesisinde kullanılan boyanın sadece %70-80’i boyanmak istenen yüzeye gider. Kalan %20-30 şuralara kaybedilir:

- ✓ Askılar
- ✓ Parçanın arka yüzeyi (boyanmak istenmeyen yüzeyi)
- ✓ Kabin dışına
- ✓ Toz toplama filtrelerine

**Tablo 4: Sarfiyat Hesaplama Tablosu m<sup>2</sup>/kg (%100 verim)**

Yoğunluk	Film Kalınlığı (mikron)										
	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	125
1.0	33.3	28.6	25.0	22.2	20.0	16.7	14.3	12.5	11.1	10	8.0
1.1	30.3	26.0	22.7	20.2	18.2	15.2	13.0	11.4	10.1	9.1	7.3
1.2	27.8	23.8	20.8	18.5	16.7	13.9	11.9	10.4	9.3	8.3	6.7
1.3	25.6	22.0	19.2	17.1	15.4	12.8	11.0	9.6	8.5	7.7	6.2
1.4	23.8	20.4	17.9	15.9	14.3	11.9	10.2	8.9	7.9	7.1	5.7
1.5	22.2	19.0	16.7	14.8	13.3	11.1	9.5	8.3	7.4	6.7	5.3
1.6	20.8	17.9	15.6	13.9	12.5	10.4	8.9	7.8	6.9	6.3	5.0
1.7	19.6	16.8	14.7	13.1	11.8	9.8	8.4	7.4	6.5	5.9	4.7
1.8	18.5	15.9	13.9	12.3	11.1	9.3	7.9	6.9	6.2	5.6	4.4
1.9	17.5	15.0	13.2	11.7	10.5	8.8	7.5	6.6	5.8	5.3	4.2
2.0	16.7	14.3	12.5	11.1	10.0	8.3	7.1	6.3	5.6	5.0	4.0

**Tablo 5: m<sup>2</sup> Başına Toz Boya Maliyeti (DM/ m<sup>2</sup>)**

Sarfiyat m <sup>2</sup> /kg	Toz Boya Fiyatı (DM/kg)										
	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00
30	0,13	0,15	0,17	0,18	0,20	0,23	0,27	0,30	0,33	0,37	0,40
28	0,14	0,16	0,18	0,20	0,21	0,25	0,29	0,32	0,36	0,39	0,43
26	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23	0,27	0,31	0,35	0,38	0,42	0,46
24	0,17	0,19	0,21	0,23	0,25	0,29	0,33	0,38	0,42	0,46	0,50
22	0,18	0,20	0,23	0,25	0,27	0,32	0,36	0,41	0,45	0,50	0,55
20	0,20	0,23	0,25	0,28	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60
16	0,25	0,28	0,31	0,34	0,38	0,44	0,50	0,56	0,63	0,69	0,75
13	0,31	0,35	0,38	0,42	0,46	0,54	0,62	0,69	0,77	0,85	0,92
10	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20
8	0,50	0,56	0,63	0,69	0,75	0,88	1,00	1,13	1,25	1,38	1,50
6	0,67	0,75	0,83	0,92	1,00	1,17	1,33	1,50	1,67	1,83	2,00
5	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00	2,20	2,40

Toz boya ve kürlenmiş film için belirli spesifik testler vardır. Toz boyalar müşteriye ulaştığında kullanıma hazırdır; solvent bazlı boyalardaki gibi ayarlama gerektirmez ve bu yüzden toz boya üreticilerinin üretim prosesinin tüm aşamaları sırasında son derece titiz kalite kontrol uygulamaları gerekmektedir. Bu da bütün toz boyaların yüksek kaliteye sahip olduğunu garantiyecektir. Toz boyalar ve film performansı için bazı genel test prosedürleri olduğu gibi, spesifik müşteriler için özel testler de gerçekleştirilebilir.

## **TOZ BOYA TEST PROSEDÜRLERİ**

**Tanecik b y kl ğu dağılımı** - Tanecik b y kl ğu dağılımını belirlemeye yardımcı olacak bazı testler vardır. Bu teknikler oldukça çeşitlidir ve termoset toz boya taneciklerinin düzensiz Şekil ve b y kl kl klerinden dolayı teknikler farklılaştığca sonuçlarda farklı olmaktadır. Buna rağmen pratik amaçlar için bu farklılıklar göz ardı edilebilir.

### Elek Analizi

Bu en basit, çok yönlü ve en hızlı tekniktir ve ne yüksek yetenekte personel ne de bir hesaplama gerektirir. Geniş aralıktaki k uk toz taneciklerini çabucak ayırabilir ve termoset toz boyalar için Şu anda yeterli görülmektedir.

En basitiyle değişik aralıklı elek serisi ve otomatik titreştirici kullanılabilir. Fakat ince tanecikli toz boyalar k uk aralıklı eleklerden geçirilirken sıkça tıkanmalar yaşanabilir.

Elek  zerindeki toz boyayı hava yardımıyla kabartarak taneciklerin birbirinden hızla ayrılmasını sağlayabilen ve eleğin tıkanmasını önleyen air-jet elekler kullanılabilir.

Alpine hava jetli elek, farklı boyutta elekler kullanarak 10 mikrondan 125 mikrona kadar tanecik dağılımının tespitinde kullanılabilir.

### okeltme Teknikleri

Bu test Andreasen pipeti, Backman ve Shimadzu okeltme terazisi ve photosedimentometer gerektirmektedir. Bu teknikler toz boyanın sıvı içinde, genellikle belirli bir yüzde oranında ıslatıcı veya dispersiyon ajanı içeren su, belirli bir zaman aralığında okmesini kapsar. Toz boya taneciklerinin okmesi sırasında cihaz tanecik ağırlıklarının kaydeder. Taneciklerin okmesiyle kaydedilen bilgilerden tanecik b y kl ğu dağılımı hesaplanabilir.

### Coulter Sayacı

Bu metod toz boya taneciklerinin elektrolit içinde dağıtılarak dar bir yarıktan geçirilmesidir. Tanecikler yarıktan geçtikçe elektrolitin elektrik direncinin değişmesi taneciklerin hacminin tahmin edilmesinde kullanılır.

Hesaplanan rakam bir kürenin hacmine eşdeğerdir ve bu metod taneciklerin Şekli hakkında hiçbir bilgi vermez.

### Lazer Işığı Difraksiyon teknikleri

Bu metoda göre hava içinde dağıtılmış bir miktar toz boya lazer ışık demetinden geçirilir. Tanecikten yansıyan ışık demetlerinin açısı veya açıları taneciğin çapı tarafından belirlenir. Yansıyan ışık demetlerinin eşmerkezli algılayıcı seriler üzerinde etkisi vardır. Bu algılayıcıların herbiri tarafından emilen enerji tanecik b y kl ğu dağılımını yazıcıdan çıktı olarak verecek bilgisayara iletilir.

**Kuru toz boya akışkanlığı** - Daha önce de belirtildiği gibi uygulanma ve geri besleme sırasında toz boya besleme hatları boyunca toz boyanın kullanım ve nakli için akışkanlığı önemlidir. Belirli bir kapsama kadar bu toz boyanın tanecik b y kl ğune bağlıdır fakat reçine karakteristikleri, pigment ve dolgu girdileri ve diğer katkılar gibi diğer faktörlerin de etkisi olabilir. Toz boyanın akışkanlık karakteristiklerini belirleyecek çeşitli metodlar vardır:

### Kenar açısı

Belirli miktardaki toz boyanın yatay konumdaki toplama plakasının üzerine koni oluşturacak Şekilde akıtılmasıdır. Koninin kenarından hesaplanan aı toz boyanın kuru akışkanlık karakteristiklerinin göstergesidir.

### **SAMES Akışkanlık Ölçer (Afnor Metot)**

Bu metot dik konumda transparant plastik silindir şeklinde hava kabartmalı akışkan yatak içerir. Silindirin kenarlarında tıpa ile kapatılabilen küçük delikler vardır. Kuru basınçlı hava, miktarı ve basıncı kontrol altında tutularak kabartma levhasına beslenir. Silindir içine 250g toz boya test numunesi koyulur ve hava açılır. Toz boyanın kabardığı yükseklik ölçülür; hava kapatıldıktan ve boya çöktükten sonra toz boyanın yüksekliği tekrar ölçülür. Hava tekrar açılır ve kabartma sırasında tıplar 30 saniye için uzaklaştırılır. Bu zaman zarfında dışarıya çıkan toz boyalar toplanır ve tartılır.

Eğer  $h_1$  : hava kabartmalı toz boya yüksekliği

$h_0$  : hava kabartmasız toz boya yüksekliği

$m$  : 30 saniyede toplanan toz boya ağırlığı

ise hava kabartma indeksi, " r " şöyle hesaplanabilir:

$$r = (h_1 \div h_0) \times m$$

Hava kabartma indeksi toz boyanın kuru akışkanlık karakteristikleri hakkında bilgi verebilir fakat sonuçlar dikkatle ele alınmalıdır.

**Toz Boyanın Depolanması** - Toz boyanın depolanması sırasında özellikle ılık hava şartlarına maruz kaldığında kek oluşturmaması veya topaklaşmaması önemlidir. Ayrıca depolama sırasında reçine ve kürlenme ajanı arasında kimyasal reaksiyon oluşmamalıdır çünkü bu da toz boyanın uygulama özelliklerini, akışkanlık ve parlaklığını etkiler.

Depolama testleri genellikle belirli miktardaki toz boyanın bir kap içine konularak bu kabın sabit sıcaklıktaki ( 30-40°C aralığında) bir fırın içinde önceden belirlenen süre kadar tutulması olarak gerçekleştirilir. Test sırasında boyanın yüzeyine belirli ağırlıkta ( örneğin 100g) bir disk koymak yaygındır. Bu şartlar altında bir ay depolama süresinden sonra bloklaşma, kekleşme veya toz boyanın reaktivitesinde bir değişme olmamalıdır.

**Nem içeriği** - Bu toz boyanın bloklaşmasını ve kuru akışkanlık karakteristiklerini etkiler.

1. Nem miktarını belirlemenin en basit yöntemi ağırlığı bilinen az miktardaki toz boyanın 105°C sıcaklıktaki fırında ısıtmaktır. Eğer toz boya yüzeye ince bir tabaka halinde yayılmazsa, uçucu gazların sıkışıp kalmasından dolayı bu metod yanlış sonuçlar verebilir.
2. Alternatif metod olarak ağırlığı bilinen bir miktar toz boyanın 8 gün boyunca desikatörde fosfor pentoksit üzerinde bekletilmesi ve tekrardan tartılmasıdır.

**Isıtmadan sonra ağırlık kaybı** – Ağırlığı bilinene (0.5 – 1.0g) toz boyanın 200°C'de 15 dakika ısıtılır ve desikatör içinde soğumaya bırakılır. Ağırlık kaybı yüzde olarak başlangıçtaki toz boya ağırlığından hesaplanır. Bu ağırlık kaybı uçucu maddeler (polyüretanlardaki kaprolaktam gibi) çıktığından toz boyalar için önemli olabilir.

**Özgül ağırlık** – Bu toz boyanın kaplama gücünün hesaplanması için çok önemlidir ve buradan belirtilen film kalınlığında birim alanın boyanması için gerçek boya fiyatı hesaplanabilir.

Hesaplama için iki metod mevcuttur:

- ✓ Özgül ağırlığı bilinen ve solvent olmayan sıvılarla yer değiştirme
- ✓ Gaz piknometre



### Yer değiştirme metodu

Bu metodu gerçekleştirmek için analitik terazi, 500cm<sup>3</sup> erlen, eter ve bir miktar toz boya gereklidir ve aşağıda açıklanan prosedür uygulanmalıdır:

Toz boya (örneğin 50g) ağırlığı bilinen erlen içinde tartılır ve geri kalan hacim eter ile işaretili yere kadar tamamlanır. Eğer erlenin içindeki karışımın ağırlığı örneğin 378g ise eterin ağırlığı toplam ağırlıktan toz boyanın ağırlığı çıkartılarak hesaplanır, örneğin 378g – 50g = 328g. Eğer eterin özgül ağırlığı 0.7 olarak ölçülmüşe hacmi şöyle hesaplanabilir:

$$\text{Hacim} = \frac{\text{Ağırlık}}{\text{Özgül ağırlık}} = \frac{328}{0.7} = 468.8\text{cm}^3$$

Daha sonra karışım içindeki toz boyanın hacmi 31.2cm<sup>3</sup> (500cm<sup>3</sup> - 468.8cm<sup>3</sup>) olarak hesaplanır. Toz boyanın özgül ağırlığı ise şöyle hesaplanabilir:

$$\text{SG} = \frac{50}{31.2} = 1.6$$

Fakat yukarıdaki metod tamamen yeterli değildir. Modern toz boya ların çoğu için toz boya taneciklerinin arasındaki havanın yerini alacak sıvıyı bulmak çok zordur.

### Gaz piknometre

Bu daha doğru ve hızlı bir metoddur. Hava veya helyum ile çalışabilen özel bir cihazdır. Hava ile çalışan modelleri daha ucuz ve yeterince doğrudur. Cihaz direkt olarak ağırlığı önceden bilinen toz boyayla yer değiştiren havanın hacmini ölçmektedir ve testin gerçekleşmesi 2-3 dakika sürmektedir.

**Jelleşme zamanı** – Toz boyanın jelleşme zamanı şu özelliklerin belirtilmesinde yararlıdır:

- ✓ Kurlenme hızı
- ✓ Toz boya kalitesinin kararlılığı
- ✓ Depolama sırasındaki kimyasal stabilitesi

Yukarıda bahsedilen depolama testinden sonra jelleşme zamanındaki göze çarpacak derecedeki düşüş toz boyada reaksiyon olduğunu gösterir ve toz boya filmi üzerinde istenmeyen etkiler yaratabilir.

Jelleşme zamanını belirlemek için kullanılan cihaz istenilen sıcaklıkta tutulabilen (genellikle 180-200°C) ve  $\pm 1^\circ\text{C}$  doğrulukta ısıtma bloğundan oluşur. Az miktardaki (0.25g) toz boya ısıtılmış plakanın merkezine yerleştirilir ve kronometre başlatılır. Erimiş boya küçük tahta spatula ile karıştırılır. Spatula ile eriyikten lifler daha fazla ekilemediğinde geçen zaman jelleşme zamanı olarak kaydedilir.

**Kül içeriği** – Soğuk fırın içine yerleştirilmiş porselen tabak içinde bir miktar toz boya tartılır. Daha sonra fırın yavaş yavaş külleşme zamanına kadar ısıtılır. (Isıtma, başlangıçta sıkışan hava ile birlikte toz boyanın kaçmasını önlemek için yavaş yapılmalıdır). Soğumadan sonra porselen tabak tekrar tartılır.

**Diğer kalite kontrol prosedürleri** – Bu infrared spectroscopy ve difransiyel kalorimetre tarayıcıyı içermektedir. Bu iki metod da toz boya kalitesini anlamak açısından değerlidir.

**Kürlenmiş toz boya prosedürleri** – Solvent bazlı endüstriyel boyalarda olduğu gibi her üretim partisi müşteriye göndermeden önce kontrol edilmelidir. Termoset toz boyalar yapılacak testlere bağlı olarak üç tip yüzeye uygulanabilir:

işlem görmemiş çelik

demir fosfat kaplama çelik

çinko fosfat kaplama çelik

Toz boya kontrol edilen film kalınlıklarında elektrostatik olarak uygulanır ve belirli zaman ve sıcaklık altında kürlendirilir.

Daha sonra kimi zaman müşterinin spesifikasyonlarına göre ISO, ASTM, DIN veya BS standartlarına göre testler uygulanır.

## TOZ BOYA UYGULAMASINDA KARŞILAŞILAN PROBLEMLER VE ÇÖZÜMLERİ

### Toz Boya Uygulama Kusurları

Problem	Olası Neden	Çözüm
<b>Yetersiz yükleme</b> – yetersiz film kalınlığı ve örtücülük	Yüksek gerilim kaynağı elektroda yeterli güç ulaştıramıyor	a) Gerilim kaynağı açık mı? Gerilim kaynağından elektroda kadar, kablo, dirençler ve sigortalar dahil, bütün bağlantıların temasını kontrol et. b) Elektrod yoksa veya kırıkta değiştir. c) Elektrod üzerinde toz boya birikmiş ise temizle.
	Topraklama yetersiz	Topraklama temasını konveyör rayından, parçaya kadar kontrol et. Bütün temas yüzeyleri toz boya, yağ ve diğer yalıtkan malzemelerden arındırılmış olmalıdır.
	Toz boya beslemesi çok yüksek	Toz boya beslemesini, yeterli yüklemeye sağlanana kadar kıs.
	Kabin içindeki hava nemli	Nemli havadaki rutubet, toz boya taneciklerindeki yükü dağıtma eğilimindedir. Püskürtme alanının nemini kontrol altına al.
	Toz boya çok ince	a) Yeni boyaya karıştırılan geri dönen boya miktarını sabit tut. b) Toz boyanın tanecik dağılımını kontrol et. Üreticisi ile bağlantı kur.
	Toz boya tipi/formülasyonu	Bazı toz boyalar formülasyonları diğerlerine göre daha iyi yüklenir. Diğer bazı boyalar ise ince film uygulamaları için geliştirilmişlerdir. Üretici ile bağlantı kur.
	Taşıyıcı hava basıncı çok yüksek. Toz boyayı parçadan püskürtüyor.	Hava basıncı ayarını düşürün, veya tabancayı parçadan uzaklaştırın.
<b>Girintilere yetersiz nüfuz</b> – Toz boya Faraday kafesi alanlara (delikler, yivler, kanallar, iç köşeler ve girintiler) girmiyor	Toz boya beslemesi çok düşük	Toz boya besleme ayarını yükselt.
	Yetersiz topraklama	Topraklama temasını konveyör rayından, parçaya kadar kontrol et. Bütün temas yüzeyleri toz boya, yağ ve diğer yalıtkan malzemelerden arındırılmış olmalıdır.
	Gerilim çok yüksek	Gerilim ayarını düşürerek tabancaya daha yakın köşelerin toz boyayı itmesini engelle.
	Taşıyıcı hava basıncı çok yüksek	Hava basıncını azaltarak, girintilerde boyanın süpürülmesini önle.
	Hatalı püskürtme huzmesi	a) Püskürtme huzmesini ayarla. b) Alternatif ağızlıkları dene.
	Hatalı püskürtme yön ve açısı	Püskürtme yönünü, huzme girintilere tam karşıdan ulaşacak şekilde ayarla.
<b>Geri iyonlaşma</b> – toz boya tanecikleri parçadan geri itiliyor	Gerilim çok yüksek	Voltajı düşür.
	Tabanca parçaya çok yakın	Tabancayı parçadan uzaklaştır.
	Yetersiz topraklama	Topraklama temasını konveyör rayından, parçaya kadar kontrol et. Bütün temas yüzeyleri toz boya, yağ ve diğer yalıtkan malzemelerden arındırılmış olmalıdır.
	Çok kalın toz boya tabakası	Toz boya beslemesini, yeterli yüklemeye sağlanana kadar kıs.
<b>Toz boya çıkışı değişken ve atmalı</b> – düzensiz toz boya beslemesi	Yetersiz hava basıncı veya miktarı	Hava kaynağını kontrol et. Hava kaynağından tabancaya kadar hava hortumlarının yeterli çapta olup olmadığını değerlendir.
	Hortumlar ezilmiş, bükülmüş veya çok uzun	Toz boya besleme hortumunun durumunu ve güzergahını kontrol et.
	Hortum, enjektörler veya emme tüpleri	a) Hava pompasını, vanalarını ve tabancaları temizle. b) Hava kaynağının nemini kontrol et. c) Toz boya çıkış ayarını kontrol et. d) Uygulama alanının bağıl nemini ve sıcaklığını kontrol et. e) Boya besleme sisteminde hava kaçağı ara.
	Yanlış toz boya çıkışı	a) Toz boya çıkış ayarlarını kontrol et. b) Düşük toz boya çıkışı için, boya besleme havası ayarlarını değiştir. c) Hortumları, çapı daha küçük bir hortumla değiştir.
	Boya besleme tankında, kabartma yetersiz	a) Kabartma havası ayarlarını kontrol et. b) Kabartma zarında tıkanma, yırtık vs. ara.
	Tankta boya yetersiz	Yeni boya ekle.

### Toz Boya Besleme Problemleri

Problem	Olası Neden	Çözüm
<b>Kazandan dışarı boya çıkıyor</b>	Kabartma havası çok fazla	Kabartma havasını ayarla
	Tankın havalandırması yetersiz	Tank hava vanasında tıkanma ara.
<b>Kazandaki toz boya yüzeyinden hava çıkışı yok</b>	Hava basıncı yetersiz	Kabartma havası ayarını kontrol et. Hava basıncını artır.
	Zar tıkanmış	Zarda kirli ve yağlı hava nedeniyle tıkanmış delikleri temizle.
	Toz boya zar üzerinde bloklanmış	Zar üzerindeki katı toz boyayı el ile temizle.
<b>Hatalı kabartma – Tanktaki boya yüzeyinde büyük hava kuyuları oluşuyor</b>	Tankta çok az boya var.	Tank yeterince doluncaya kadar toz boya ekle.
	Çökmüş veya nemli toz boya	a) Boyayı el ile karıştır, basınçlı hava ile iyice kabart. b) Basınçlı havanın ve kabin havasının nem ve yağını kontrol et. c) Toz boyayı elemek gerekebilir.
	Zar tıkanmış veya yırtılmış	a) Zarda kirli ve yağlı hava nedeniyle tıkanmış delikleri temizle. b) Zar çerçevesinin yerine oturduğunu, kenarlardan kaçak olmadığını kontrol et.
	Toz boya tanecik dağılımı	a) Doğru “geri dönen boya / yeni boya” oranını sağla. b) Tanktaki toz boyanın tanecik dağılımını kontrol et.
<b>Hortumlar, tabanca, enjektörler tıkanıyor</b>	Toz boyanın akışkanlığı düşük	Toz boya ikmalcisi ile görüşün.
	Normal birikim	Parçaları temizle veya değiştir.
	Hava basıncı çok yüksek	a) Hortum boylarını kısalt. b) Hava besleme ayarlarını düşür.
	Hava kaynağında nem var	Basınçlı havanın temiz, kuru ve yağsız olmasını kontrol et.
	Toz boya tipi ve formülasyonu	Bazı toz boya tipleri birikmeye daha yatkındır. İkmalciniz ile görüşünüz.
	Hortum malzemesi	Hortumları kontrol et. Ekipman ikmalciniz ile görüşün.
	Aşınmış enjektör ve diğer parçalar	Bütün aşınmış parçaları değiştir.
	Toz boya tanecik dağılımı	a) Doğru “geri dönen boya / yeni boya” oranını sağla. b) Tanktaki toz boyanın tanecik dağılımını kontrol et.
	Kıvrılmış veya ezik hortumlar	a) Hortumlarda keskin kıvrımlara ve eziklere izin vermeyin. Hortumları dış etkenlere ve aşınmaya karşı koruyun. b) Deforme olmuşsa değiştirin.
Hortumlar çok uzun veya çok kıvrımlı	Hortum uzunluğunu azalt, güzergahını dikkatle seç.	
<b>Yetersiz boya çıkışı</b>	Toz boya kabarmıyor	Yukarıdaki “Toz Boya Yüzeyinden Hava Çıkışı Yok” bölümüne bakınız.
	Toz boya besleme sisteminde tıkanma	a) Enjektörleri, emme borularını, hortumları ve tabancaları kontrol et. b) Hava kaynağını kontrol et. Pompa ve tabanca ayarlarını düzenle. c) Beslenen toz boyada kirlenme olmamasını kontrol et.
	Hortumlar çok uzun veya çok kıvrımlı	Hortum uzunluğunu azalt, güzergahını dikkatle seç.
	Hava basıncı düşük	Hava kaynağını kontrol et. Pompa ve tabanca hava ayarlarını düzenle.

### **Kabin ve Geri Kazanım Sistemi Problemleri - Genel**

<b>Problem</b>	<b>Olası Neden</b>	<b>Çözüm</b>
<b>Parça yüzeyi kirlenmesi</b>	Kabin içine konveyör veya askılardan kir ve toz dökülüyor	Konveyörü düzenli aralıklarla temizleyin. Konveyör rulmanlarını doğru yağ ile ve yeterli sıklıkta yağlayın, rulmanların bloklanması izin vermeyin. Askıları zamanında temizleyin.
	Kabine giren parçalar kirli	Yağ alma ve yüzey işlem prosesini kontrol et. Parçanın kabine girmeden yeterince kurutulmuş olduğunu kontrol et.
	Kabine giren tesis ortamı havası kirli	Toz boya uygulama ortamını bölmelerle tesisin geri kalanından ayırın. Tercihan toz toplamalı ve nemi kontrollü bir bölmeye yerleştirin. Uygulama odasına pozitif basınç uygulayın. Civarda bulunan diğer prosesleri inceleyerek, bir kirlenme yaratmadıklarından emin olun.
	Basınçlı hava kirli	Hava kompresörünü ve hava besleme sistemini kontrol edin.
	Elek teli yırtık, hasarlı.	Elek telini değiştir. Yerine rahat oturup oturmadığını kontrol et.
	Elek çalışmıyor.	Eleği veya elek kontrol devrelerini onar veya değiştir.
<b>Yetersiz toz kontrolü, Kabinden hava çekişi zayıf</b>	Filtre tıkanmış	a) Filtreyi temizle veya değiştir. b) Ortam nemini kontrol et. c) Filtrenin hava patlatmasının çalışırlığını kontrol et. d) Besleme havasında nem ve yağ olmamasını kontrol et.
	Kabin temizliği için basınçlı hava kullanılması	Doğru temizlik yöntemi için "5. Renk Değişimi" bölümüne bakınız.
	Yanlış toz boya tabancası yeri/yönü	Tabancaları gerektiği şekilde ayarla. Kabindeki açıklıklardan uzaklaştır, ve uzağa yönlendir.
	Ortamdaki hava cereyanı kabinden toz çıkarıyor	Boya kabininin bulunduğu ortamdaki hava cereyanlarını haritalaştır. Toz boyanın sürüklenmesini azaltmak için, cereyanları en aza indir.
	Hava çekişi zayıf	Hava çekiş vantilatörünün doğru çalışırlığını kontrol et.
<b>Geri dönen boya, başka boyalarla kirleniyor</b>	Kabin, geri kazanım sistemi temizliği yetersiz	Ekipmanı ikmalcisinin belirttiği gibi temizleyin.
<b>Kabin içi türbülans</b>	Kabin içinde hava hızı yüksek	Ekipman ikmalcisi ile görüşün.
<b>Geri kazanım oranı düşük</b>	Yetersiz hava hızı	Yukarıdaki "Yetersiz toz kontrolü ..." bölümüne bakınız.
	Sistem yalıtımı kötü	Hava kaçaklarını tespit et ve ortadan kaldır.
	Toz boya içindeki ince tane oranı yüksek	Ekipman ve toz boya ikmalcilerinizle bağlantı kur.