

YÜKSEK FIRINDA ATIK PLASTİK KULLANIMI

Muhlis Nezihi SARIDEDE
Yıldız Teknik Üniversitesi
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
Davutpaşa Kampüsü, 34210
Esenler, İstanbul

ÖZET

Gelişen teknoloji ile birlikte plastiklerin yaygın olarak kullanılmaya başlanması, oluşan atık miktarında da önemli artışlara sebep olmuştur. Atık plastiklerin yüksek fırında kok ve fuel oil yerine redükleyici eleman olarak kullanılması, hem atık plastik miktarını azaltarak çevreye katkı sağlamakta, hem de yüksek fırında kok tüketimini düşürerek verimliliği yükseltmektedir. Piyasadan toplanan ve ön işlemlerden geçirilen plastikler, tüyerler vasıtasıyla fırına enjekte edilmekte, redükleyici elemanlara parçalanarak demir oksitle reaksiyona girmektedirler. Atık plastiklerin bu şekilde kullanılmalarının çevreye ve ürün özelliklerine olumsuz bir etkisi bulunmamaktadır.

ABSTRACT

The amount of waste plastic is increased with use of plastic material widespreadly with technology development. Using of waste plastics as a substitute for coke and fuel oil in blast furnace both decrease the amount of waste plastic which contribute to environment protection and reduce the coke consumption which increase the blast furnace productivity. Waste plastics are injected from the tuyeres after collecting from various company and pre-treating. Injected waste plastics are broken down to form reducer gas and reacts with the iron oxide. Utilization of waste plastics in blast furnace has no negative influence onto the environment and product features.

1. GİRİŞ

Plastikler, ekonomiklikleri, uygulama kolaylıkları ve özelliklerinin her geçen gün geliştirilmeleri nedeniyle kullanım alanlarını ve miktarlarını giderek arttırmaktadırlar. Elektrikli ev aletlerinde, otomobil sektöründe, mutfak eşyası, park-bahçe alanlarında, plastiğe dayalı inşaat malzemesi, gıda maddesi ambalajı, kozmetik, temizlik malzemesi, narenciye, tarım ürünleri, tekstil, konfeksiyon ambalajı ve sağlık alanında plastiğe dayalı araç gereç kullanımı ile günlük yaşantımızın her alanında plastik ile karşılaşılmaktadır. Gelişmişliğin bir göstergesi olarak kabul edilen kişi başına plastik tüketimi 1998 yılında ABD’de 98,1 kg., Batı Avrupa’da 69 kg., Çin’de 11,1 kg., Türkiye’de ise 30,4 kg. olmuştur. 1998 yılında dünya plastik tüketimi 115 milyon ton olmuş, Batı Avrupa’da 28,8 milyon ton ülkemizde ise 2,024 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. [1,2].

Plastiklere olan talebin artması atık plastik miktarında da artışa yol açmaktadır. Kullanım ömrünü dolduran plastikler, açık depolama alanlarında biriktirilmekte ve uzun süre (35-40 yıl) çeşitli kirlilikler oluşturmaktadır. Plastiklerin LCA (Life Cycle Assesment) değerlerinin yani doğada parçalanmaları için geçen ömürlerinin yüksek olması ve yeniden kullanım oranlarının

düşüklüğü atık plastik miktarını hızla arttırmaktadır. 2005 yılında sadece PVC'nin dünyada 250 milyon ton atık oluşturacağı hesaplanmıştır [1,2].

Atık plastikler, günümüzde dünya kamuoyunun üzerinde durduğu en önemli konulardan birisidir. Konunun önemi, plastiklerin geri dönüşümü ve enerji üretmek amacıyla değerlendirilmesi konularındaki araştırma ve geliştirme çalışmalarına hız kazandırmıştır. Gelişmiş ülkelerde atık plastiklerin geri kazanımı için atık yakma tesisleri kurulmuştur. Bu sayede hem atıklar ortadan kaldırılmakta hem de elektrik enerjisi üretilmektedir. Japonya'da endüstriyel ve evsel kaynaklardan gelen atık plastikler 1997 de yaklaşık 9,5 milyon tona ulaşmıştır. Bu miktarın %34 ü (yaklaşık 3,25 milyon ton) araziye gömülmekte, kalan 6 milyon ton ise yakılmaktadır. Yakılan kısmın yaklaşık 2,8 milyon tonu elektrik üretiminde ya da ısıl geri kazanımda kullanılmaktadır. Geri dönüştürülen miktar ilave edilse bile, %40 tan biraz fazlası ya da 4 milyon tonluk miktar ancak verimli olarak kullanılmaktadır [1,3,4].

Atık plastiklerin miktarlarının azaltılması ve daha verimli bir geri dönüşümün sağlanması için Japonya ve Almanya'da atık plastiklerin yüksek fırına enjeksiyonu sistemi geliştirilmiştir. Daha önce geliştirilmiş olan toz kömür, gaz ve fuel oil enjeksiyonu yoluyla yüksek fırında kok tüketimi azaltılmaya çalışılmıştır. Bu redükleyici elemanlar yerine plastik atıkların konulması çalışmaları 8-10 yıllık bir geçmişe sahiptir [5].

Japonya'da NKK firması, 1996'dan Almanya'da ise Stahlwerke Bremen 1995'ten itibaren ticari olarak yüksek fırında atık plastik kullanım sistemini faaliyete geçirmişlerdir. Yine Almanya'da Krupp Hoesch firması deneme çalışmalarını bitirmiş ve kullanıma başlamıştır.

NKK'da 1 no.lu yüksek fırında yılda 600.000 ton atık plastik değerlendirilmektedir. Firma bu miktarı 1 milyon tona çıkarmayı planlamaktadır. Stahlwerke Bremen'de kullanılan atık plastik miktarı yılda 70.000 ton, Krupp'ta ise 90.000 tondur. Her iki işletmede bu miktarları artırma çalışmaları yapmaktadırlar.

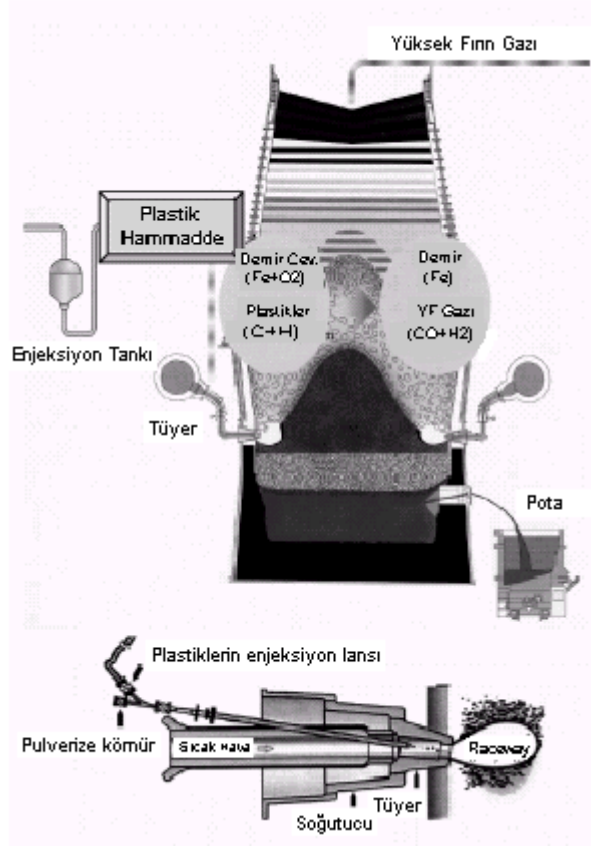
Atık plastikler kırılarak ya da peletlenerek gerekli boyuta ve şekle getirildikten sonra kok ve pulverize kömür yerine kullanılabilir. Boyutlandırma ve şekillendirme işlemlerinden sonra özel enjeksiyon ekipmanları kullanılarak sıcak hava ile tüyerlerden yüksek fırına verilirler [3].

2. YÜKSEK FIRINDA REDÜKLEYİCİ OLARAK ATIK PLASTİK KULLANIMI

2.1 Kok ve Pulverize Kömür Yerine Atık Plastik Kullanımı

Şekil 1 de görüldüğü gibi demir cevheri ve kok yüksek fırına üstten bir sıra dahilinde yüklenmektedir. Sıcak hava ise fırının alt kısmındaki tüyerlerden üflenerek koktan CO üretilmektedir. Bu reaksiyonun ısısı ve oluşan CO demir cevherini redüklemek ve ergitmek için kullanılır. Böylece üretilen pik demir ve curuf belli aralıklarla fırının en alt kısmındaki hazne bölümünden alınır [3].

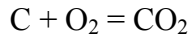
Son zamanlarda bütün demir çelik fabrikaları kok yerine geçmek üzere tüyerlerden pulverize kömür enjekte etmektedirler, böylece hammadde maliyeti azaltılmaktadır. NKK Keihin İşletmesindeki 1 no.lu yüksek fırında günde yaklaşık 4.000 ton kok ve 1.000 ton pulverize kömür kullanarak 16.000 ton demir cevheri redüklenmekte ve 10.000 ton pik demir üretilmektedir [3].



Şekil 1. Yüksek fırın prosesinde atık plastik kullanımı ve tüyerlerden plastik enjeksiyonu [3].

Plastikler karbon ve hidrojenden yapılmışlardır. Kok yerine redükleyici eleman olarak fırına verilen plastik, redükleyici gazlar ($CO+H_2$) üretecek şekilde parçalanır ve bunlar fırın içinde yukarı doğru yükselerek demir cevheriyle reaksiyona girerler. Redüksiyon reaksiyonlarını takiben gazlar (yaklaşık 800 kcal/Nm^3) geri kazanım amacıyla çelik fabrikası içinde ısıtma fırınları ve güç üreteçlerinde gaz yakıt olarak yeniden kullanılırlar [3,4].

Atık plastikler tüyerler vasıtasıyla fırına enjekte edilirler. Sıcak hava fırının alt kısmındaki tüyerlerden yüksek hızda üflenerek koku akışkanlaştırır ve “hava oluşu/cebi” (raceway) denilen bir boşluk oluşturur. Tüyerler vasıtasıyla enjekte edilen plastik parçacıkları hava oluşu içindeki dönüş esnasında tamamen gazlaşır. Pulverize kömür ve kok, oluk bölgesinin ilk kademesinde 2000°C 'yi aşan sıcaklıkta oksijen tüketerek ve CO_2 üreterek hızla yanarlar [3].



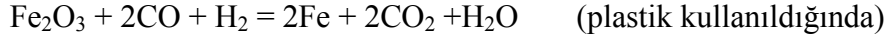
Oluğun son kademesine gelinceye kadar bütün oksijen tükeneceği için kokla CO_2 'in reaksiyonu sonucu CO üretilir.



Kok yerine plastik kullanıldığında, plastik CO ve H_2 'e parçalanır.

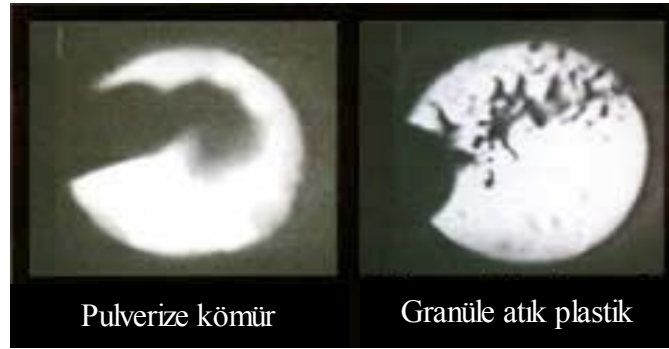


Üretilen CO ve H₂ fırın içinde yükselerek demir cevherini redükler ve ergitir. Oluşan pik demir fırının alt kısmından alınır.



Plastik kullanıldığında hidrojen redüksiyon reaksiyonuna katkıda bulunur. Böylece ortaya çıkan CO₂ miktarı, sadece kok ve pulverize kömür kullanıldığında çıkan miktara göre yaklaşık %30 azalmış olur [3,4,6].

Tüyerlerden üflenen partiküllerin sadece yaklaşık 5 milisaniye kadar reaksiyon süreleri vardır. Bunlar kok ve demir cevheri yatağına çarpmadan önce hava oluşu içinde tamamen reaksiyon yapmalıdırlar. Damla şeklindeki hava olukları her bir tüyerin ucundan itibaren oluşur. Hava olukları bir metreden daha az uzunluğa sahiptir. Fırına enjekte edilen plastik, hava oluşu içinde tamamen bozunmazsa redüksiyon reaksiyonları için işe yaramaz hale gelir. Karbonlaşma olur ve fırın içindeki yükün geçirgenliğini azaltıcı etki yapar. Pelet halindeki plastiklerde böyle bir durum sözkonusu olmaz, plastik peletleri tamamen reaksiyona girer ve fırının geçirgenliğini etkilemezler. Şekil 2 de pulverize kömür ve atık plastik kullanma durumlarında tüyer önünde oluşan görüntüler verilmektedir [7].



Şekil 2. Pulverize kömür ve atık plastik kullanıldığında tüyer önü bölgesinin görüntüsü [2].

Atık plastik kullanılarak üretim yapıldığında pik demirin ve curufun bileşimlerinde önemli değişiklikler ortaya çıkmamakta, toz ve gaz emisyonlarında artış görülmemektedir [8].

Redükleyici gazın kullanma verimliliği demir oksitle reaksiyon dengesinden genellikle yaklaşık %60 olarak alınır. Redüksiyon reaksiyonlarını takiben fırın gazları, tozlar uzaklaştırıldıktan sonra çelik fabrikası içinde gaz yakıt olarak kullanılır. Bu durumdaki kullanma verimliliği %20 olarak hesaplanmıştır. Toplam kullanım verimliliği yaklaşık %80 e ulaşmaktadır [3,4,9].

Demir cevherinin redüklenmesi ve ergitilmesine ilave olarak kok, yüksek fırında gazların, sıvıların ve katıların hareketini sağlamak için boşluk oluşturucu olarak görev yapar. Plastik ve pulverize kömür bu tarz bir fonksiyonu yerine getiremez, bu nedenle kokun yerine plastiğin kullanımı yaklaşık %40 la sınırlandırılmıştır. Bu durum NKK Keihin İşletmesindeki 1 no.lu yüksek fırındaki uygulamada görülmektedir: Yıllık 3 milyon ton pik demir üretiminde yılda 600.000 ton plastiğin geri dönüşümüne izin verilmektedir. NKK'nın dört adet yüksek fırınında yılda 2,4 milyon ton atık plastik kullanılmaktadır [3,4].

2.1 Ağır Yağların Yerine Atık Plastik Kullanımı

Stahlwerke Bremen en büyük Alman çelik üreticisidir. İki adet yüksek fırınla günde 7.000 tondan fazla ve yılda yaklaşık 3 milyon ton pik demir üretmektedir. Stahlwerke Bremen katı plastik enjeksiyonunu yüksek fırında kullanmaya karar verdikten sonra pilot tesiste bir sene test çalışmaları yapmıştır. 1995 yılından itibaren ticari olarak kullanım başlamıştır [5].

Stahlwerke Bremen ve Krupp Hoesch Stahl AG firmalarının kullandığı sistemlerde pik demir üretiminde kullanılan ağır yağların yerine %30 a kadar öğütülmüş plastik kullanılmaktadır [10].

Stahlwerke Bremen'in geliştirdiği demir üretim tekniğinde, düşük kaliteli karışık plastik toprakları ağır yağ yerine bire bir kullanılabilir. Bu ağır yağ pik demir üretiminde demir cevherinin deoksidasyonu için redükleyici bir elemandır. Bu proses bir yanmadan çok geri dönüşüm olarak düşünülmektedir. Amaç maksimum enerji elde etmek değil yakıt yerine plastiklerin özgül kimyasal reaksiyon davranışlarını kullanmaktır [10].

Granül plastik bir lans vasıtasıyla yüksek fırının tüyerlerinden üflenir ve plastik o bölgede hemen gazlaşarak temel elementlerine ayrılır, CO ve H₂ ortaya çıkar. Bu işlem 2200°C (4000 F) de gerçekleşir. Bu elementler daha sonra demirden oksijeni alarak su buharı ve CO₂ şeklinde uzaklaşırlar (Şekil 3) [5,7,10].

Plastikler >18mm'den büyük boyutluların ayrıldığı bir siloda ya da büyük tanklarda toplanmaktadır. Ayrıca plastik atık içinde fiber ya da metal partiküllerin (ör. teller, iğneler) bulunmasına izin verilmez. Küçük plastik atık parçacıkları (<18 mm) enjeksiyon bölümüne giderler ve orada 5 barlık enjeksiyon basıncı oluştururlar. Boşaltma ve miktarın ayarlanması mekanik olarak değil pnömatik olarak yapılır. Sürekli işlem için minimum bulk yoğunluk 0,3 t/m³ olacak şekilde ayarlanmalıdır [5].

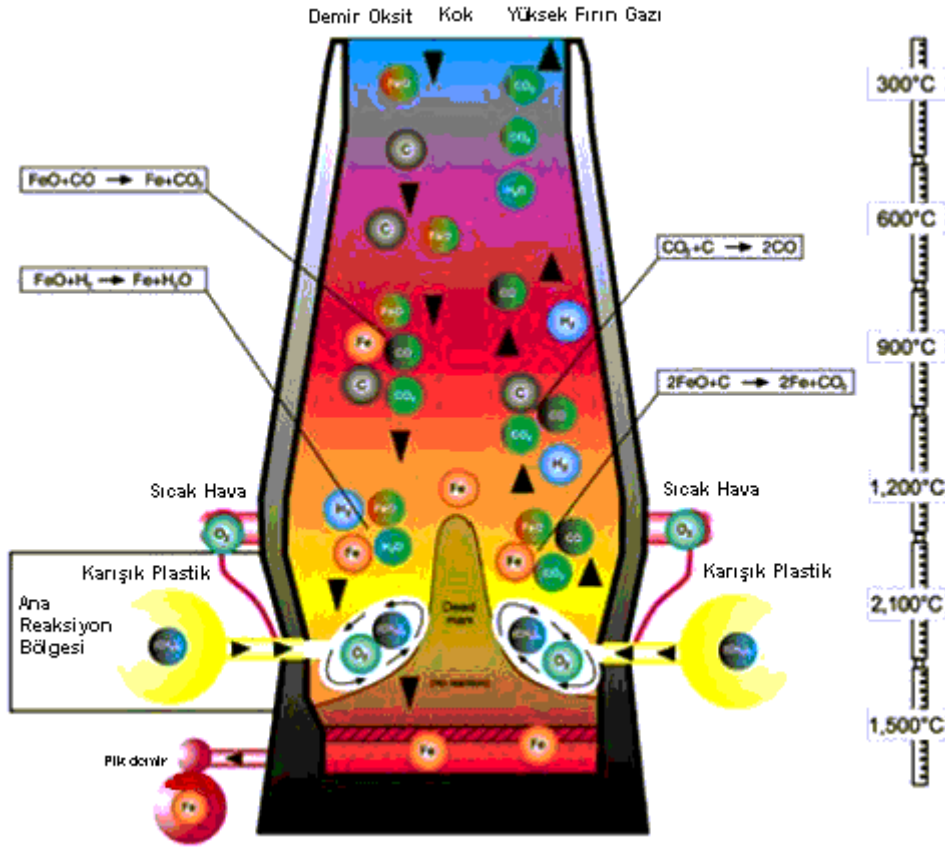
Krupp Hoesch firması toz kömür enjeksiyonunda kullanılan lansla granül plastiği üfleme tekniğini denemektedir. Böylece Stahlwerke Bremen'in kullandığı teçhizatların çoğunu kullanmaya gerek kalmayacaktır. Krupp'un prosesi Stahlwerke Bremen'e benzer başarılı sonuçlar vermiştir [10].

Plastiğin enerji içeriğinin %30 u yüksek fırında ısı amacıyla kullanılır. Bu miktar yakma tesislerindeki ortalama kullanım oranına eşittir. Demir cevherinin redüksiyonunda plastiklerin %50 si kullanılır. Bu demektir ki plastiğin toplam kullanım oranı %80 dir [10].

1998 de Alman yüksek fırınlarında 162.500 ton hurda plastik kullanılmıştır. Bu Almanya'da geri dönüştürülen hurda plastik miktarının %25 idir [5].

Plastik atıkların bir avantajı da kömüre göre daha düşük oranda kükürt içermesidir. Korkulan bir konu PVC'nin taşıdığı klor atomlarının dioksinler oluşturmasıdır. Fakat testlerde her iki işletmede de muhtemel madde emisyonlarına rastlanmamıştır, bu da fırındaki yüksek sıcaklığın ve kuvvetli redükleyici atmosferin bir sonucudur. Stahlwerke Bremen'de dioksin emisyon seviyesi 0,0001-0,0005 nanogram/m³ çıkan hava'dır. Bu değer çöp yakma tesisleri için limit değer olan 0,1 nanogram/m³ seviyesinin oldukça altındadır ve klor ayrılması için ön işlemleri gereksiz kılmaktadır. PVC'nin içinde bulunan diğer ilave metallerde olduğu gibi onlar da muhtemelen ürün (çelik) içine girmekte ya da atıklardan biri vasıtasıyla (curuf, baca tozu

vb.) yüksek fırından uzaklaşmaktadır. Dioksinlerin yanında CO₂ ve metan gibi diğer maddelerin emisyonları, ağır yağ kullanıldığında ortaya çıkan değerlerle aynıdır [5,7,10].



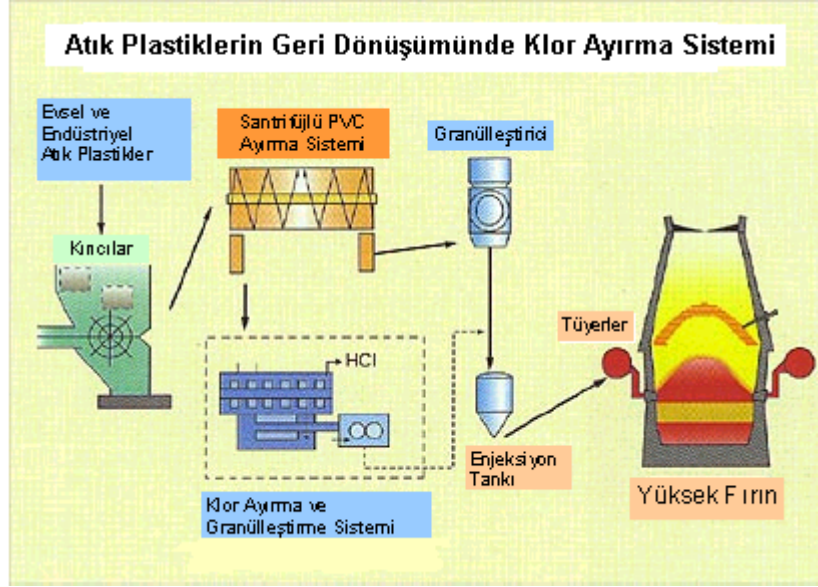
Şekil 3. Yüksek fırında atık plastik kullanılması durumunda oluşan reaksiyonlar [10].

Stahlwerke Bremen ayda değeri yaklaşık 100\$ olan 3.000 ton yakıtın yerine aynı miktarda plastik kullanılmaktadır. Bu tekniği uygulamak için gerekli olan plastik silolarını ve enjeksiyon teçhizatını kurmak için işletmenin harcadığı para 50 milyon DM tır [10].

3. YÜKSEK FIRINDA KULLANIMI UYGUN OLMAYAN PLASTİKLER

PVC gibi klor içeren plastiklerin enjeksiyonu, ısı ya da benzer diğer ısıl proseslerle plastiğin parçalanması nedeniyle yüksek fırında hidrojen klorür oluşmasına neden olur. Yüksek fırında curufun bileşimini kontrol etmek için kullanılan kireçtaşı fırındaki hidrojen klorürü nötralize eder ve konsantrasyonunu azaltır [3].

Yüksek fırın gazının işleme ve yeniden değerlendirilmesinde kullanılan teçhizatda hidrojen klorür korozyonuna karşı bir önlem alınmadığında, kullanılan geri dönüşüm malzemelerinin içinde klorür içeren plastiğin minimum miktarda olmasını sağlamak çok önemlidir. Şekil 4'te atık plastik içindeki kloru ayırmak için kullanılan klor ayırma sisteminin prostedeki yeri görülmektedir. Plastiklerle beraber gelen az miktardaki kağıt, taş ve kumlar curuf olarak kolayca atıldıkları için problem teşkil etmezler [3].

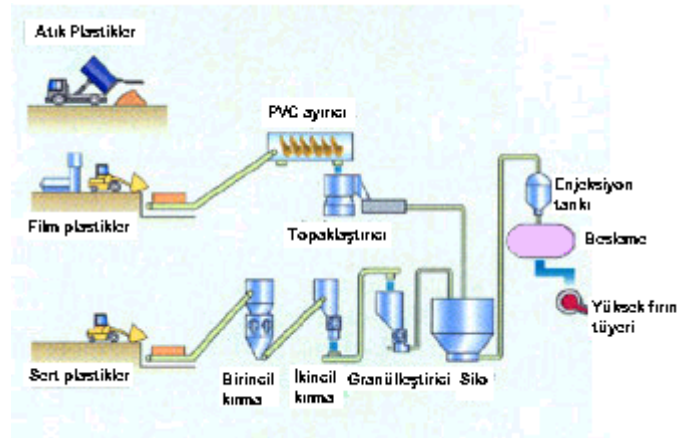


Şekil 4. NKK firmasının kullandığı atık plastiklerden kloru ayırma sistemi [9].

Tüyerlerin yakınında sıcaklık yaklaşık 2400°C olduğundan hidrojen klorürün varlığı dioksinlerin üretimini sonuç vermez. Bunun yanında fırının tepesindeki düşük sıcaklık bölgesinde redükleyici atmosfer oksijen içermediği için dioksinler ortaya çıkmaz ve yeniden sentezlenme reaksiyonları oluşmaz. Bu durum fırın içindeki bütün bölgelerde dioksinlerin sentezlenme reaksiyonlarını önlemek için son derece etkili olmaktadır [3].

4. ENDÜSTRİYEL ATIK PLASTİĞİN İŞLENMESİ

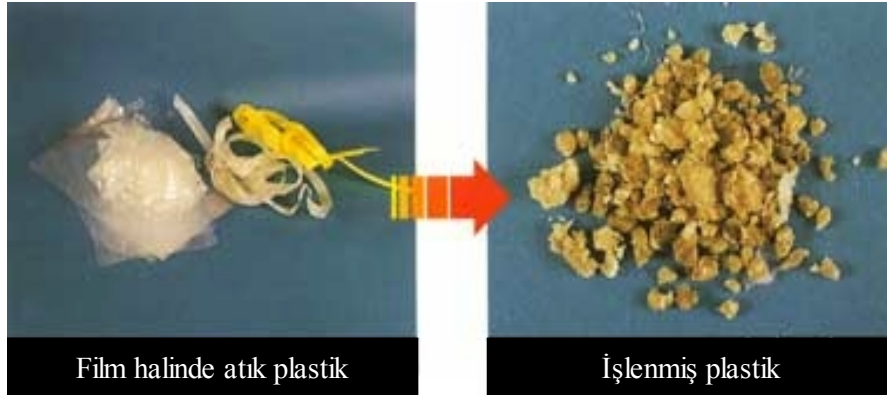
PVC dışındaki endüstriyel plastiği yüksek fırın için redükleyici elemana dönüştürme işlemlerine NKK Keihin İşletmesinde Ekim 1996 da başlanmıştır. Yaklaşık 40.000 ton plastik bu amaçla geri döndürülmektedir. Bununla birlikte PVC'leri ayırma ihtiyacı nedeniyle plastik hurda ticareti istenenden daha pahalı gerçekleşmektedir. Japonya'da plastik hurdaların %15 ini PVC oluşturmaktadır [3,8,11].



Şekil 5. Endüstriyel atık plastiği yüksek fırın hammaddesine dönüştürme teçhizatı [9].

Plastikleri yüksek fırın redükleyici elemanına dönüştürmek için kullanılan teçhizat Şekil 5 te görülmektedir. Sert, iri plastikler (örneğin şişeler) birinci ve ikinci kademe kırıcıdan geçirilerek istenen boyuta indirilir ve doğrudan fırına enjekte edilir. Borulardaki tıkanmaları önlemek için ince, hafif film şeklindeki plastikler kıyılır, ergitilir ve fırına enjeksiyona uygun boyutta pelet haline getirilir. Endüstriyel atık plastiklerin bileşimleri büyük oranda bilinir ve bu nedenle PVC plastiklerin karışması malzeme alımında önlenebilir. Bu durumda PVC ayırma teçhizatı gerekmez [3,4].

Yüksek fırında kullanılacak plastik peletler gözenekli, düzensiz şekilli, 6-8mm (max. 10mm) boyuta sahip malzemelerdir. Az bir maliyetle üretilebilirler. Peletler belli bir kaliteye sahiptirler ve geri dönüşüm tesisi içinde kolayca taşınabilirler (Şekil 6) [9].



Şekil 6. Film halinde plastiklerin işlem görmeden önce ve sonraki durumları [10].

6. ARAŞTIRMALAR

Atık plastiklerin yüksek fırında redükleyici eleman olarak kullanılmasıyla ilgili araştırmalar yoğun bir şekilde sürdürülmektedir. PVC'nin diğer plastiklerden ayrılmasıyla ilgili yeni teknikler ve polietilen poşetlerle ilgili araştırmalar yapılmaktadır. Tarımda kullanılan polietilen poşetlerin geri kazanılması çalışmasında poşetler ilk önce sistemdeki döner bıçaklarla pulverize edilmekte daha sonra sürtünme ısıyla ergitilmektedir. Ergiyen polietilen hızla soğutulmakta ve 6 mm boyutunda peletler haline getirilmektedir. Peletler tüyerlerden yüksek fırına beslenmektedir [4,11].

Konuyla ilgili araştırma-geliştirme merkezlerinde çevresel etki çalışmaları da ayrıca sürdürülmektedir [4].

6. SONUÇLAR

Yüksek fırında kok ve ağır yağlar yerine redükleyici eleman olarak atık plastiklerin kullanılmasıyla ilgili aşağıdaki değerlendirmeleri yapmak mümkündür:

1. Atık plastiklerin yüksek fırında redükleyici eleman olarak kullanılması, kok tüketimini azaltmakta ve yüksek fırın verimliliğini arttırmaktadır.
2. Atık plastiklerin kullanım verimliliği %80 dir. Böylece yüksek fırında kok yerine kullanılan diğer yakıtların tüketimi azalmakta ve daha verimli kullanılmaları sağlanmaktadır.

3. Atık plastiklerin kullanılması sonucunda dioksinler ortaya çıkmamakta ve CO₂ emisyonu azalmaktadır. Bu sayede çevreye olumlu katkı sağlanmaktadır.
4. Yüksek fırında atık plastik kullanımında büyük ölçekli ve kararlı işlem yapmak mümkündür.
5. Yeniden kullanımı mümkün olmayan plastik maddelerin geri dönüşümü, hem ekonomiye katkı sağlamakta hem de atıkların oluşturduğu çevre yükünü azaltmaktadır.
6. Atık plastiklerin değerlendirilmesi amacıyla yapılan yakarak ısı enerjisi elde etme prosesine göre çok daha verimli bir işlemdir.
7. Plastik kapların ve paket malzemelerinin bileşimlerinde yapılacak değişimler ve ayırma ve geri kazanım sistemlerindeki ilerlemeler teçhizatları basitleştirecek ve toplam yaşam döngüsünün maliyetini daha fazla azaltacaktır.
8. Yüksek kaliteli plastiklerin (ör. PET şişeler) geri dönüşümünün sağlanması ve geri dönüştürülen ürünlerin daha fazla kullanılmasını teşvik etmenin yanında plastik atık miktarını azaltmak için tüketicilere uygun bir sistem geliştirmekte oldukça önemlidir.

KAYNAKLAR

1. DPT Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Plastik Ürünleri Sanayii Özel İhtisas Komisyonu Raporu, DPT:2547-ÖİK:563, Ankara, 2001.
2. E. Erünsal, “Atık Plastik Malzemelerin Yüksek Fırınlara Enjeksiyonu”, Erdemir Test, Kalite ve Teknoloji Baş Md., Araştırma ve Geliştirme Md., Mayıs 2002.
3. Y. Ogaki, K. Tomioka, A. Watanabe, K. Arita, I. Kuriyama and T. Sugayoshi, “Recycling of Waste Plastic Packaging in a Blast Furnace System”, NKK Technical Review, No.84, July 2001.
4. T. Furukawa, “Plastic as Ironmaking Fuel at NKK”, New Steel, May 1998.
5. A. Tukker, H. de Groot, L. Simons, S. Wieggersma, “Chemical Recycling of Plastics Waste (PVC And Other Resins)” TNO Report STB-99-55 Final, TNO Institute of Strategy, Technology and Policy, Netherlands, December 1999.
6. T. Miyata, “Is NKK a Steel Maker?”, Technical Report, June 2001. ([www.arofe.army.mil/Reports/Mechanical/ Report_MandE0601.htm](http://www.arofe.army.mil/Reports/Mechanical/Report_MandE0601.htm))
7. “Recycling of Mixed Plastics in the Blast Furnace” Der Grüne Punkt-Gesellschaft für System Technologie mbH, Köln. (www.systemtechnologie.com).
8. F. E. Mark, “Pre-treated Shredder Residue Feedstock Recycling in a Blast Furnace Process”, Plastics in End-of-Life Vehicles, pp.1-2, 2002.
9. “NKK to Expand Waste Plastics Recycling For Blast Furnace Feed”, JFE Holdings Inc. News Releases, December 24, 1998. (<http://www.jfe-holdings.co.jp/en/release/nkk/38-10/art01.html>)
10. P. Burgert, “A Substitute for Oil: Plastic”, New Steel, Nov. 1996.
11. “Plastic Wastes Eyed for Blast-Furnace Fuel”, Reed Business Information, May 7, 1998.