

Demir Cevherinin Peletlenmesi

Pelletizing of Iron Ores

Necati YILDIZ (*)

ÖZET

Dünyada gelişen teknoloji içinde demir-çelik endüstrisi de yerini almıştır. En yeni teknolojilerin kullanılması, sinter ve pelet tesislerinin modernize edilmeleri, yüksek fırınlara daha kaliteli hammadde sağlamış ve böylece yüksek fırınların verimliliği de artmıştır.

Yazıda demir cevherinin peletlenmesinden bahsedilmiş, değişik peletleme yöntemleri ve peletleme ile ilgili deneyler açıklanmıştır.

ABSTRACT

Iron and steel industries has been benefiting from the growing technology. The use of the latest technologies in the modernization of sinter and pellet plants made the production of better quality raw materials for blast furnaces possible. Hence, the efficiency of blast furnaces has increased.

In this paper, the pelletizing of iron ores is described, iron ore pelletizing processes and the tests used in the determination of the quality of pellets are explained.

(*) Maden Yük. Müh, T.D.Ç.t. Divriği Madenleri Müessesesi, SİVAS

1. GİRİŞ

Günümüzde endüstrileşmenin en büyük rolünü maden sektörü yüklenmiş bulunmaktadır. Madencilikğin önemli dallarından birisini oluşturan cevher zenginleştirme ise özellikle 19. yüzyılın son yarısından sonra gelişen teknoloji ile birlikte büyük bir önem kazanmıştır. Demir-çelik sanayinin gelişmesine paralel olarak, demir aglomerasyon teknolojisi de hızla gelişmiş ve özellikle sinterleme ve peletleme, bu sanayi kolunda önemli bir yer bulmuştur.

ince öğütülmüş cevher konsantresinde, ya da katkı maddeleri ile birlikte oluşturulan karışımından, topraklar halinde kütle elde etme işlemi kısaca aglomerasyon olarak tanımlanır. Çoğunlukla, metal cevherleri, özellikle demir ve kurşun için aglomerasyon uygulanmaktadır.

Bir aglomerasyon yöntemi olan sinterleme, 19. yüzyılda metal endüstrisinde, kesikli bir işlem olarak ortaya çıkmıştır, ilk sürekli sinter tesisi, 1906 yılında Meksika'da bakır ve kurşun cevherlerinin sinterlenmesi amacı ile kurulmuştur. Demir - çelik endüstrisinde ilk sinter tesisi, 1910 yılında devreye alınmış ve bu tesis günde 140 tonluk bir üretim yapmıştır. Zamanla işletmelerde kullanılan makinaların boyutları ve kapasiteleri artmıştır.

il. Dünya savaşından sonra peletleme teknolojisi, demir çelik endüstrisine paralel olarak büyük bir gelişme göstermiştir. Toz ve düşük tenörlü cevherlerin değerlendirilmesi amacı ile kurulmuş pelet tesisleri, demir ve çelik üreten tesislerin verimliliğini büyük oranda artırmıştır.

2. PELETLEME

2.1. Peletlemenin Tanımı ve Amacı

Son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte demir cevheri aglomerasyonunun üretim olarak büyük bir bölümünü peletleme oluşturmaktadır. 60'lı yıllardan bu yana peletleme teknolojisi büyük bir hızla gelişmekte ve demir cevheri işleyen tesisler için uygun kalitede şarj malzemesi sağlamaktadır. 1980 verilerine göre yıllık dünya demir pelet üretimi 250 milyon ton olup bu rakamın 90'lı yıllarda 400 milyon tona ulaşması beklenmektedir. Demir peletleme işlemi-

nin amacı, aglomerasyon ve sertleştirme yoluyla, demir yönünden zengin ince taneli mineralleri pelet olarak tanımlanan yüksek fırın şarj malzemesi haline sokmaktadır. Peletler sert ve genelde küresel maddeler olup yüksek fırında kullanılabilirliği için aşağıdaki özelliklere taşınmaları gerekir:

-Toz, kırıntı ve ince kısımdan arındırılmış olmalıdır.

- Taşınma ve stoklanma sırasında meydana gelecek kırılmaya karşı fiziksel olarak dayanıklılık göstermelidir.

-Yüksek fırında, ısıtılırken çeşitli tepkimeler sırasında meydana gelecek zamansız ufalanmaya karşı direnç gösterecek yapıda olmalıdır.

Peletlenecek cevher ve kaynakları, zenginleştirilmiş düşük tenörlü demir cevheri ya da doğrudan yüksek fırına şarj edilmeyen toz halinde bulunan yüksek tenörlü cevherler olabilir. Peletleme işlemi iki ana bölümden oluşur:

-Ham pelet ve

-Ürün pelet üretimi.

Ham pelet, zenginleştirilmiş cevherin bağlayıcılar ile birlikte karıştırılması ve topaklanması ile, ürün pelet ise ham peletin önce ısısal daha sonra soğutma işlemlerine sokulması ile oluşur.

2.2. Peletleme Hammaddeleri

2.2.1. Cevher

Peletlenecek demir cevheri, fiziksel ve kimyasal olarak birkaç özellik birden taşınmalıdır. Yapısına göre %60 Fe içerikli cevherler peletlenebilmektedir; ancak dünyada genel olarak %65 ya da daha fazla Fe içeren cevherler peletlenmektedir. Ham peletin eldesinde en önemli etkenlerden biri cevherin özgül yüzey alanıdır. Cevherin yapısına göre bu değer 1500 gr/cm² yapıda daha düşük olabilir. Ham pelet eldesinde peletlenecek cevherin %9-9,5 nem içermesi istenir. Düşük ya da yüksek oranlardaki nem, peletlenmeyolumsuz yönde etkiler.

2.2.2. Bağlayıcılar

Ham peletlerin hazırlanması, aglomerasyonunun önemli bir basamağı olup hazırlık aşamasında bağlayıcı kullanımını gerektirir. Ham pelet yapısı üzerindeki araştırmalar, pe-

letleme de bağlayıcıların kullanım oranının filtre kekinin nemi ile doğru orantılı olduğunu göstermiştir. Özellikle toprakların büyüme hızı nem ile kontrol edilir. Bu nedenle bağlayıcı olarak kullanılan maddeler, suyun akışkanlığını azaltıcı nitelikte olmalı, peletlenecek malzemenin yapısal özelliklerini bozmamalı, peletleme işlemindeki diğer bölümlere uyum sağlamalıdır. Ayrıca peletleme de kullanılacak bağlayıcıların seçiminde kolayca ve yeteri miktarda bulunabilmesi ve ekonomik olması en önemli etkenlerdir. Bağlayıcı maddeler 3 ana grupta toplanabilir:

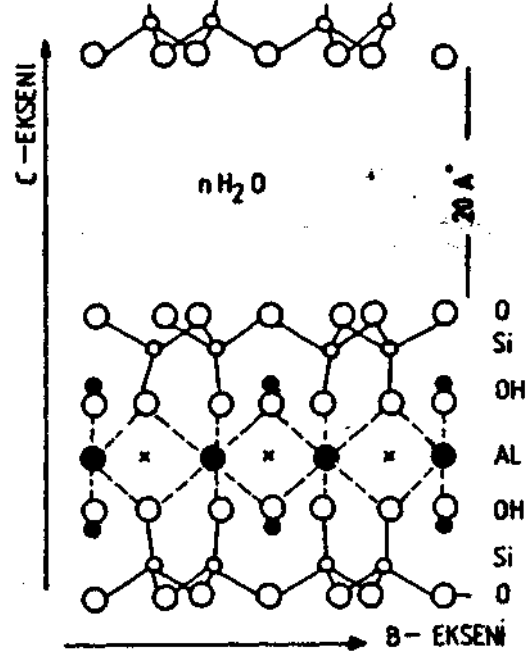
- inorganik kimyasal maddeler,
- Organik maddeler,
- Bentonit.

İnorganik bağlayıcıların tersine, organik bağlayıcıların içinde bulunan bazı maddeler, peletleme işleminin ısıl bölümlerinde yok olmakta; ürün peletlerin kimyasal yapısında bulunmamaktadır. Bağlayıcıların avantajından yararlanabilmek için peletleme de bentonitin yerine kullanılacak daha uygun bir bağlayıcı madde arayışı içine girilmiş ve daha düşük maliyetli selüloz özü polimerler geliştirilmiştir.

Dünyada gerek bulunabilirliği, gerekse ucuz olması nedeni ile bağlayıcı olarak bentonit kullanımı çok yaygındır. Bentonitin ana minerali olan montmorillonit $(Al, Mg)_2(OH)_2(Si, Al)_4O_{10} \cdot nH_2O$ ince tanelidir. Özgül yüzey alanı $10.000 \text{ cm}^2/\text{gr}'a$ kadar çıkar. Bu minarelin yaprak şeklindeki kafes kristal yapısı Şekil 1'de görülmektedir (Eisenzaufbereitung, 1970). Doğal bentonit, herbiri $20^* A$ kalınlığında olan 15 - 20 tabakadan oluşmuştur. Bu ince tabakalar birbirleri üzerinde kayabilirler ve aralarına su alabilirler. Tabakalar arasına alınan su bentonitin şişmesine neden olur. Su alan tabakalar arasındaki uzaklık $9,6'$ kadar ulaşır ki bu da bentonitin şişme yeteneğini gösterir.

Su ile şişme oranının yüksekliği ve daha akışkan olması nedeni ile, doğal sodyum bentonitleri kalsiyum bentonitlerine göre peletlemede kullanılmaya daha uygundur. Peletlemede kullanılacak kalsiyum bentonitleri genellikle soda ile aktif hale getirilir. Bu arada asil bentonit tabakalarında bulunan Ca^{++} ya da Mg^{++} iyonları birbirleri ile yer değiştirebilirler.

Bu tür bir aktifleştirme sonunda bentonitin şişme yeteneği oldukça iyileştirilebilir. Doğal kalsiyum bentonitleri kendi hacimlerinin yaklaşık % 200'ü dolayında şişerken, aktifleştirilen bentonitler de bu şişme aktifleştirme oranına göre % 600'e kadar çıkabilmektedir.



Şekil 1. Montmorillonitin kristal yapısı

Bentonitin kullanılabilirliği, genelde su emme yeteneğinden ileri gelmektedir. Montmorillonitin her bir tabakası arasına alınabilen ve Van der Waals kuvvetleri ile bağlanabilen su, cevher taneciklerini birbirleri üzerinde daha iyi kaydırır ve böylece ham pelet düşme sayısını artırır. Kurutma sırasında yüzey gerilim kuvvetleri azalır ve pelet dayanımında, artık yalnızca adhezyon kuvvetleri söz sahibidir. Bentonitin katılması ile bir taraftan suyun kalış süresi uzatılır, diğer taraftan da ek bağlayıcı kuvvetler elde edilir.

Bentonitin peletlemede başarılı bir şekilde kullanılmasında etkili olan faktörlerin başında filtre kekinin nemi, cevher cinsine göre belirlenen cevherin özgül yüzey alanı, filtre keki içerisindeki bentonit taneciklerinin dağılımı ve bentonitin kalitesi gelmektedir.

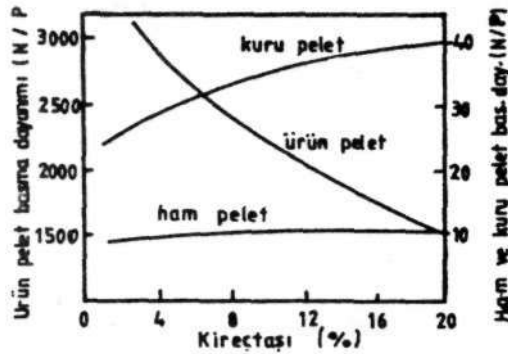
2.2.3. Katkı Maddeleri

Yüksek fırınlarda ürün peletin daha iyi kullanımını sağlamak amacıyla peletleme işleminin sırasında ham pelet elde edilirken, filitre keki-ne bazı katkı maddeleri katılabilir. Kullanılan bu katkı maddeleri, yüksek fırın verimliliğini artırmaktadır. Bu katkı maddeleri:

- Olivin
- Kireç,
- Kireçtaşı,
- Dolomit olabilir.

Olivinin kimyasal yapısı % 48 - 50 MgO, %41 - 43 SiO₂, % 6,1-6,6 Fe O'den oluşmaktadır. Cevherin içerisine kullanılan bağlayıcılara göre ham pelet elde edilirken, belirli bir oranda katılır. %5 dolaylarında olan bu oranın belirlenmesi, peletleme işlemine, ürün peletin fiziksel ve kimyasal yapısına ve yüksek fırındaki değişkenlere bağlıdır.

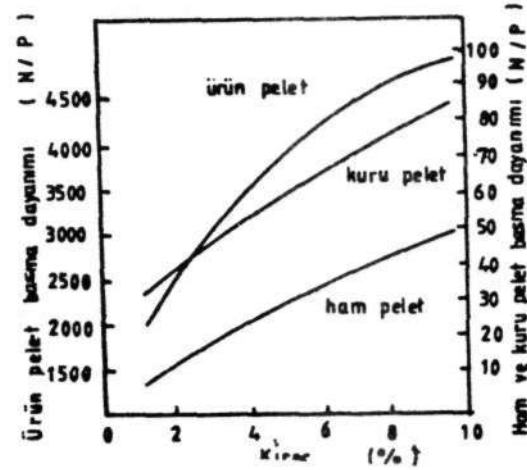
Sinter ve yüksek fırınlarda dolomit ve kireçtaşı kullanımının önemi çok büyüktür. Yüksek fırına şarj edilecek cevherde kontrol edilmesi gerekli değişkenlerden biri, şarjın asitlik ya da baziklik derecesidir. Cevherde bulunan SiO₂, Al₂O₃ asidik, CaO, MgO ise bazik özellik gösterir. Şekil 2 ve 3'de (Srb ve Ruzickova, 1988) kireç ve kireç taşının pelet basma dayanımına etkisi görülmektedir.



Şekil 2. Kireçtaşının pelet basma dayanımına etkisi

Asitlik - baziklik dengesi olarak (CaO+MgO)/Si O₂ oranı değerlendirilir. Peletlenecek cevherin, kimyasal yapısına göre ham pelet eldesi süresince işleme katılan belirli

miktarda katkı maddeleri yardımı ile bu oran istenilen değerler arasında tutulabilir. CaO/SiO₂, MgO/Al₂O₃, (CaO + MgO) / (SiO₂ + Al₂O₃) oranları da baziklik derecesi ile ilgili fikir verebilir. Şekil 4'de (Aketa ve ark., 1988) CaO/Si O₂ oranının pelet yapısındaki etkisi görülmektedir.



Şekil 3. Kirecin pelet basma dayanımına etkisi

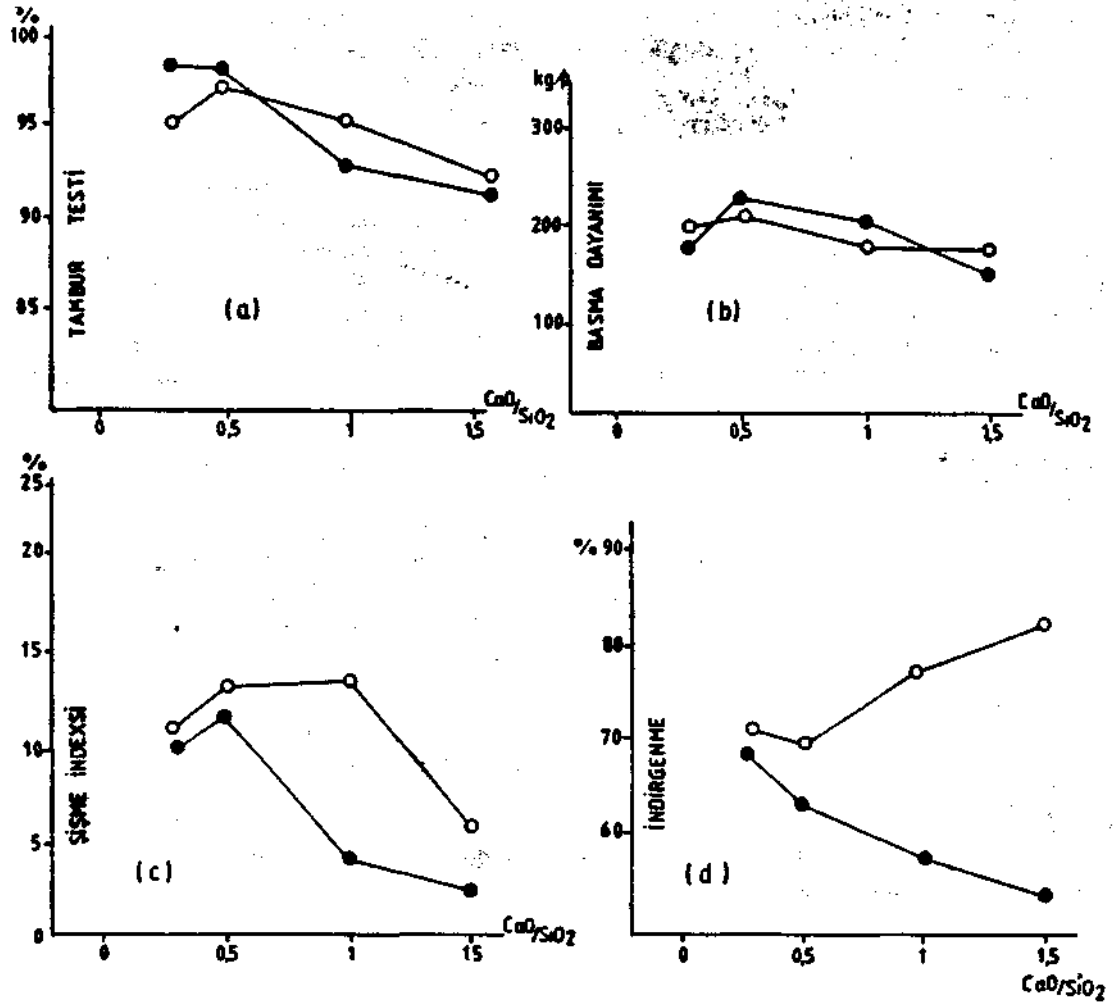
2.3. Peletleme

Peletleme 4 aşamada gerçekleşmektedir:

- Karıştırma,
- Topaklama,
- Isısal işlemler,
- Soğutma

2.3.1. Karıştırma

Peletlemenin ilk basamağı, karıştırma işlemidir. Bu bölümde, filitre keki bağlayıcı ve katkı maddeleri gerekli oranlarda en iyi şekilde karıştırılır. Peletlemede, bant konveyörlü ve kanatlı olmak üzere iki tip karıştırıcı kullanılmaktadır. Bant konveyörlü karıştırıcılarda lastik bant üzerinde aynı yönde dönen 2 adet kanatlı tambur mevcuttur. Bant üzerindeki malzeme birinci tambur tarafından diğer tambura fırlatılır, ikinci tambur bu malzemeyi tekrar bant üzerine yönlendirirken karıştırma işlemi gerçekleştirir. Kanatlı karıştırıcılarda silindirik bir gövde içinde eksen boyunca uzanan mil ve



Şekil 4. CaO/SiO₂ oranının pelet yapısına etkisi (●: 1350°C, ○: 1250°C)

mil üzerinde kanatlar vardır. Kanatlar milin dönmesiyle malzemeyi bir taraftan karıştırırken diğer taraftan çıkış ağız yönünde hareket ettirir.

2.3.2. Topaklama

Tambur, disk ya da konilerin kullanımı katkılı maddeleri ve suyun yardımı ile öğütülerek küçük parçalara ayrılmış filtre kekinden daha büyük parçalar halinde şekillendirme işlemi "topaklama" olarak isimlendirilir; oluşan topağa da "ham pelet" adı verilir. Birçok topaklama işleminde, bağlayıcı maddeler su ile birlikte kullanılır. Topaklama, kurutma ve sertleştirme gibi bazı ön metalurjik işlemlerin ilk aşamasıdır.

Yapılan araştırmalarda topaklamada ham peletin oluşması için cevher tanecikleri bir arada tutan en önemli kuvvetin sıvı filmde bulunan kılcal kuvvetler olduğu görülmüştür. Ham pelet dayanımının fazla olması için cevher neminin yeterince yüksek tutulması gerekir. Gereğinden fazla su da, mineral taneleri arasında çözülmelere neden olduğundan, topaklamada, ham pelet eldesinde istenmeyen bir durumdur.

Sıvı filmi içindeki kılcal kuvvetlerin yanısıra yapışma ve kohezyonal kuvvetler, katı parçalar arasındaki Van der Waals ve elektrostatik çekme kuvveti, taneli parçalar arasında yapısal birleşmenin de topaklamada ham peletin eldesinde önemi vardır.

Ham peletin elde edilmesi, topaklama tamburları diskleri ve konileri ile gerçekleştirilir.

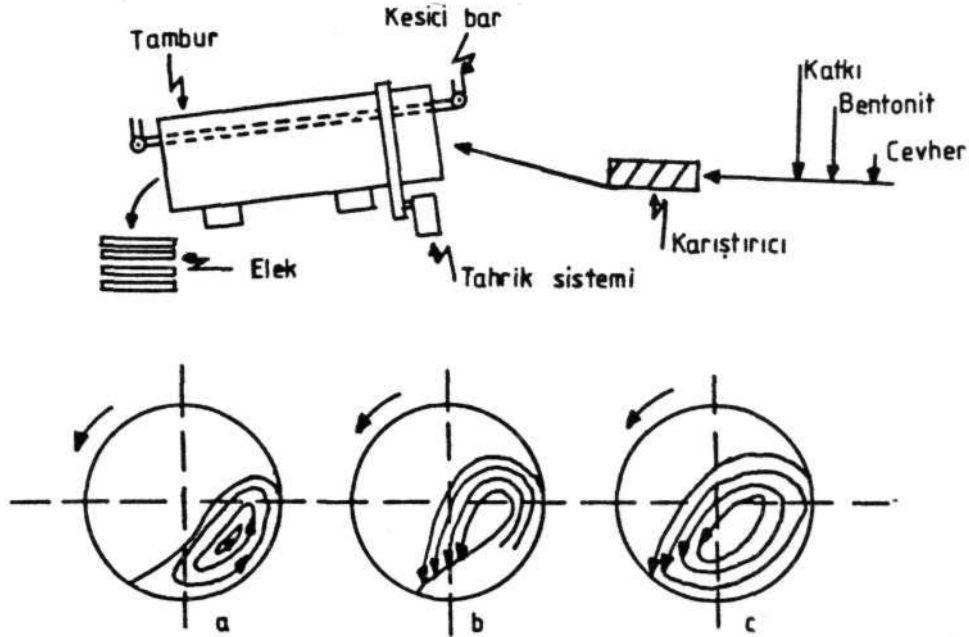
Topaklama tamburları demir cevheri konsantrisinde, su ve bağlayıcı karışımından ham pelet üretmek için kullanılan silindirik makinelerdir. Tambur, ham pelet eleği ile, sadece uygun ölçüde topakların üretilmesini sağlamak amacı ile çoğunlukla kapalı devre olarak çalışır. Karıştırma işleminden sonra malzeme (bentonit + filitre keki + katkı maddeleri), eksen etrafında dönen, eğimli bir silindir olan tambura beslenir, nem içeriğinin uygun olması koşuluyla malzeme alt üst olduğundan tek tek olan cevher taneleri birbirlerine yapışırlar ve sürekli bir büyüme içerisinde çekirdek peletleri oluştururlar. Ortama yeni giren cevher taneleri kartopu yöntemi ile çaplarını büyütürler (topakların büyümesi bu hareket nedeni ile olmaktadır). Büyümenin ikinci bir yolu ise küçük topakların ya da çekirdeklerin birbirleri ile birleşerek büyümeleridir.

Mineral partiküllerinin büyümesi tamburun giriş bölümünde oluşmaktadır. Bu bölümden sonra büyümeye uygun olan filitre keki ya da küçük aglomera kalmaz. Tamburun alt üst etme hareketi, topakları küresel hale getirir ve onları mekanik olarak sıkıştırır. Tamburun bütün uzunluğu boyunca uzanan bir kesici, tam-

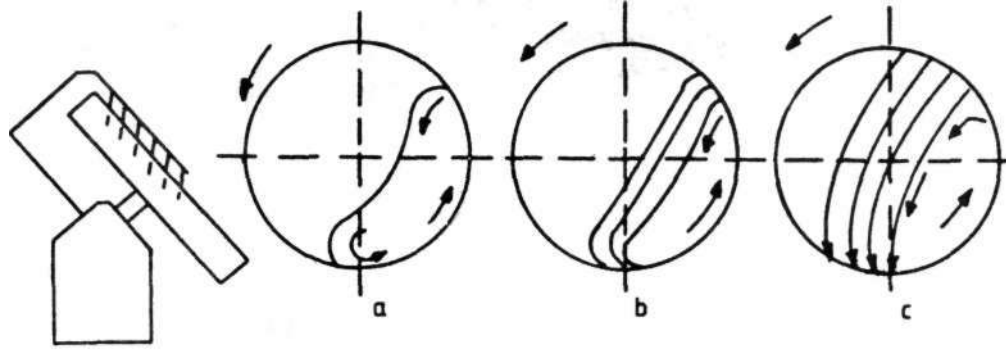
bur yüzeyinde oluşan birikimi sıyırmak için kullanılır. Bu kesici, tambur uzunluğu boyunca tambur eksenine paralel olarak ileri geri hareket eder (Şekil 5) (Srb ve Ruzickova, 1988).

Topaklama diskleri, çoğunlukla 45° - 55° arasında eğimli ve topaklama tamburlarından daha geniş bir çapa sahiptirler. Hızları yaklaşık 5 - 7 devir/dakika olup, nemli karışım diske girdiğinde, disk tarafından yukarı taşınır ve belirli bir noktadan geri düşer, sabit bir sıyırıcı malzemenin disk çevresinde merkezkaç hareketi ile karşılaşmasını önler. Savrulma hareketi partiküllerin bir araya gelerek küçük topaklar oluşturmasını sağlar. Nem bu küçük topakların dışında birikir ve bu da diğer partiküllerin kendilerine yapışmasını ve topakların büyümesini sağlar. Bu topakların disk tabanına yapışmaları, salınımlı sıyırıcılara önlenir. Bu sıyırıcıların diğer bir görevinde disk yüzeyini pürüzsüz tutmak, dolayısıyla topakların düzgün bir şekilde yuvarlanmasını sağlamaktır (Şekil 6).

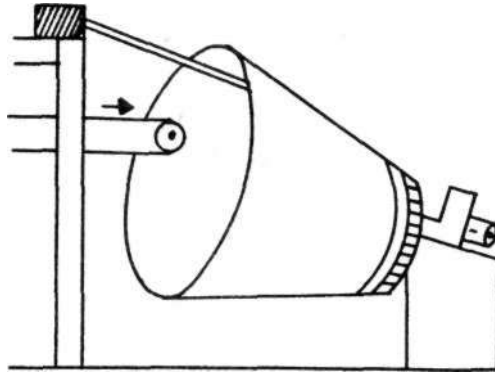
Topaklama konileri, çağımızda yerini topaklama disk ve tamburlarına bırakmış, döner bir malle desteklenen, tepesi düz, kesik konilerden oluşmaktadır. Üretim kapasitesi düşük olduğundan günümüzde kullanılmamaktadır (Şekil 7).



Şekil 5. Topaklama tamburu ve değişik devirlerde malzeme hareketi



Şekil 6. Topaklama diskleri ve değişik malzeme hareketi



Şekil 7. Topaklama konisi

2.3.3. Isısal işlemler

Peletleme, sinterleme olayındaki katı - sıvı faz geçinimi şeklindeki sertleşmeye zıt olacak şekilde bir katı - katı dönüşümü yapısal sertleşme olayıdır. Demir cevheri peletlenmesinde yapısal bağ, demir oksitlerin taneselsel olarak birbirlerine bağlanmasıyla oluşur.

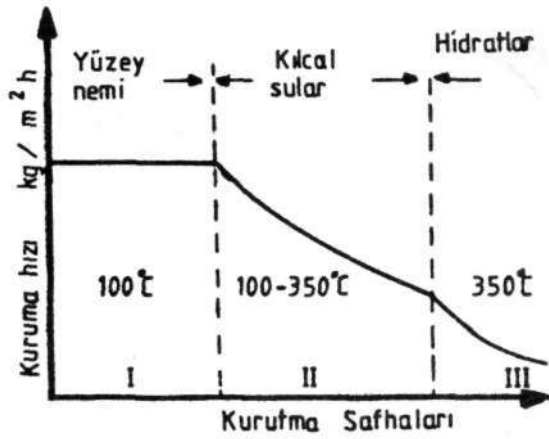
Filtre kekinin özgül yüzey alanı, peletlerin son katlaşma sıcaklıklarını belirlemede önemli bir unsurdur. Oluşan ürün peletlerin fiziksel dayanımları, bir pelet topağı içinde bulunan cevherin yüzey alanı ve dolayısıyla birbirlerine dokunma noktası sayısının çokluğu ile ilgilidir; ayrıca manyetit cevherinin hematit

cevherine göre bir avantajı, katlaşma işlemi sırasında oksidasyona uğrayarak hematite dönüşmesidir. Bu dönüşüm, ekzotermik bir tepkime olduğundan ortama bir miktar ısı sağlar; böylece manyetit cevherin peletlenmesinde daha az yakıtı ihtiyaç duyulur.

Topaklama aşamasında kullanılan bağlayıcıların ısısal işlemdeki önemi büyüktür. Ham peletlerin ısısal şoktan parçalanmaması için ortam ısısından (25 °C) işlem ısılarına geçiş kademeli olarak yapılır. Bu arada ham pelet yapısındaki bağlayıcılar bünye suyunun ani olarak ortamdaki ayrılmasını önler.

Isıl işlem makinalarında hava akışı, malzeme akışına ters yöndedir. Topaklanmadan elde edilen ham peletler bir ya da birkaç bölmeli kurutma bölgesinde önce yüzey neminden, sonra kılcal sulardan arıtılır. 350 °C - 400 °C'ta hidratlar bozularak ham peletin yapısını terk eder; (Şekil 8) (Meyer, 1980), daha yüksek ısılarda karbonat, sülfat bileşikleri bozular, sülfür ortamdan uzaklaşır ve oksitlenme başlar, 1250 -1300 °C'ta manyetit cevheri gerekli direnci kazanır.

Hematit cevherinin peletlenmesi, manyetite göre değişiklik gösterir. Hematitten üretilen pelet, direncini kristal büyümesinden ve yeniden kristalleşmeden kazanır. 1200 °C'a kadar hematit kristalleri kendi orijinal yapılarını korurlar. 1300 °C'da ilk kristal bağlar oluşmaya başlar, 1350 °C'da tekrar kristalleşme gözlemlenir (Meyer, 1980). Bu nedenle hematit cevherinin peletlenmesinde ortam ısısı, manyetite göre daha yüksektir.



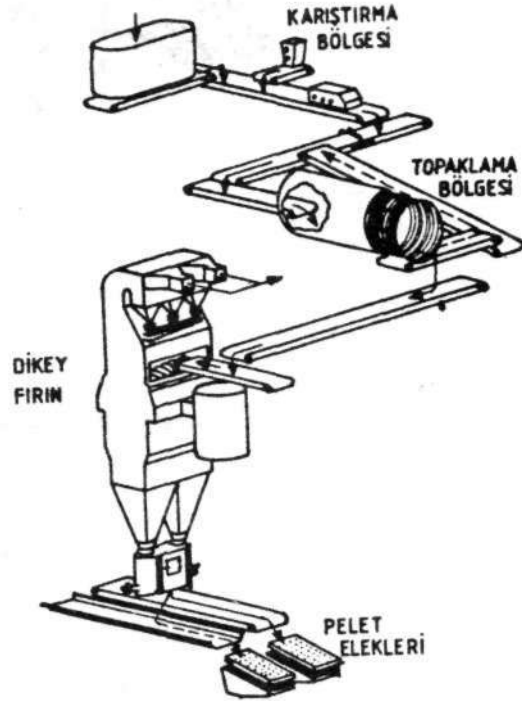
Şekil 8. Kurutma safhaları

2.3.4. Soğutma

Isısal makinalardan sonra ürün peletin taşınması, stoklanması ve ulaşımının sağlanması için soğutulması gerekmektedir. Soğutma işlemleri peletleme işleminde kullanılan çeşitli ısısal sistemlere göre değişmekle birlikte genel anlamda atmosferden alınan hava-sertleşmiş ürün peletlere verilerek ısı iletimi yaratılmaktadır. Bu soğutma sırasında elde edilen sıcak hava ısısal işlemlerde kullanılabilir. Sıcak peletlerin soğutulması için kullanılan bu tip makinalar "Soğutucu" genel adı ile anılır.

Dikey fırınlarda soğutma işlemi fırının alt kısmında gerçekleştirilir. Yatay ızgara peletleme sisteminde ise soğutma ızgaranın son bölümünde yapılır. Izgara - fırın sisteminde ise genellikle dairesel bir soğutucu mevcuttur. Döner soğutucularda soğutma fanları, atmosferden aldığı havayı pelet yatağının altından yukarı doğru verirler ve yatağı ortalama 80° - 110 °C'e kadar soğuturlar. Bu şekilde soğutucudan elde edilen 1050-1125°C'lik ısı, fırında, daha düşük ısılar sisteminin değişik yerlerindeki işlemlerde örneğin kurutma bölgesinde kullanılır.

Soğutmada önemli konu, ısısal işlem sonucu pelette oluşan kristal yapıyı ani olarak soğutup bozmamaktır. Kristal yapıdaki bozulma peletin basma dayanımını azaltır, hatta kötü bir soğutma pelette parçalanmalara neden olur.



Şekil 9. Dikey fırın peletleme sistemi (Erie Mining Co.)

2.4 Peletleme Sistemleri

Kullanılan makinaların tipleri ve uygulanan yöntemlere göre peletlemede ısısal işlemler 4 ana grupta toplanabilir:

- Dikey fırınlı peletleme sistemi,
- Yatay ızgara peletleme sistemi,
- Izgara - fırın peletleme sistemi,
- Soğuk ve düşük sıcaklıkta peletleme sistemi.

2.4.1. Dikey Fırın Peletleme Sistemi

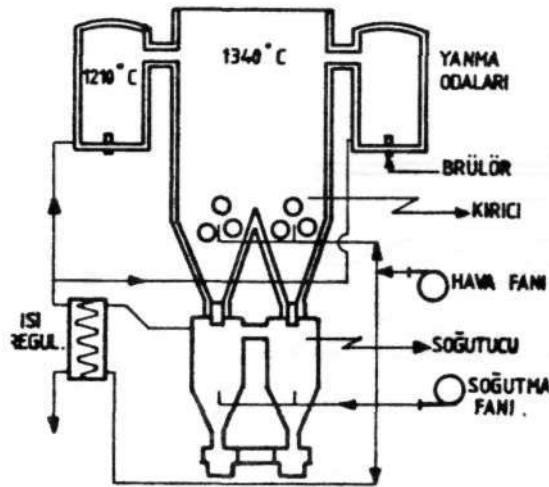
Bu tip peletleme sistemi 1930 - 1940 yılları arasında ABD ve İsveç'te denenmiş, daha sonra dünyaya yayılmıştır.

Dikey fırın dairesel ya da dörtgen şeklinde olup, dikey olarak yerleştirilmiştir (Weiss, 1985). Üstten sürekli ham pelet beslenmekte, dikey fırın içinde peletler düşey bir yol

izlerken ısısal işlemler uygulanmaktadır. Isısal işlem için gerekli ısı, alttaki peletlerin soğutulmasından ve yanlardaki ısı odalarından sağlanmaktadır. Isısal işlemler sonucu sertleşen peletler fırının altından alınmaktadır. Bu sürekli olan bir işlemdir. Fırın içinde kurutma, ön ısıtma gibi bölgelerde ısıları istenildiği gibi kontrol etmek olanaksızdır. Dikey fırını dört ana bölgeye ayırmak mümkündür:

- Üst bölge,
- Alt bölge,
- Kırma bölgesi,
- Boşaltma bölgesi.

Dikey fırın peletleme sisteminde, sistemin çalıştırılmasında fırın ilk anda boş olduğundan, ham peletler fırına beslenmeden önce fırının başka bir malzeme ile doldurulması gerekir. Bu amaçla, fırın ilk başlangıçta ısıya dayanıklı elenmiş çakıl ile doldurulur; aynı amaç için ürün pelet de kullanılabilir, işlemin başlamasıyla yataklık yapan malzeme alınır, yerine pelet kendi yatağını oluşturur. Şekil 10'da (Leeds University) peletlemede kullanılan fırınlardan birinin kesiti görülmektedir. Bu sistemin en büyük avantajı yakıt harcamasının diğer peletleme sistemlerinden daha az oluşu, ilk yatırım harcamalarının ise düşüklüğüdür; ancak ısısal kontrol ve hematit cevherinin bu sistemle peletlenmesi oldukça zordur.



Şekil 10. Dikey fırın kesiti

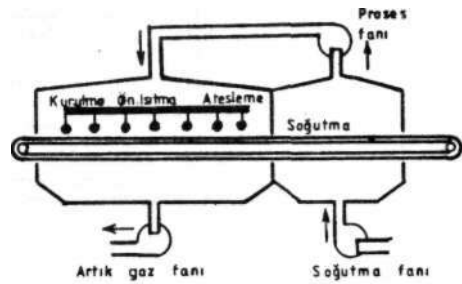
2.4.2. Yatay Izgara Peletleme Sistemi

Bu sistem 1952 yılında G.Mc.Kee ve Allis - Chalmers - tarafından geliştirilmiştir. Yapısal olarak sinterleme makinasına benzemektedir. Daha sonraki yıllarda yatay ızgara sisteminde yapılan değişiklikler, sistemin demir, krom, manganez ve fosfat cevherlerinin peletlenmesinde başarı ile kullanımını sağlamıştır. Sistem, sürekli olarak dönen sonsuz zincir üzerine yerleştirilmiş paletlerden meydana gelmiş yatay bir ızgaradır. Bu ızgara boyutları, istenilen kapasiteye, peletlenecek cevher çeşidine ısı ve kütle dengesine göre değişir.

Izgara gerekli ısısal işlemler için 4 temel bölgeye ayrılmıştır (Şekil 11) (Ball ve ark., 1973).

- Kurutma bölgesi,
- Ön Isıtma bölgesi,
- Ateşleme bölgesi,
- Soğutma bölgesi,

Yöntemin uygulanırılığı, kolaylığı ve düşük maliyeti için bu bölgeleri de kendi aralarında ayırmak mümkündür. Çevre ortamında hazırlanan ham peletin ani ısısal şokla karşılaşması için ısısal işlem bölgelerindeki ısı farkları en uygun şekilde seçilir. Izgarada işlem için gerekli ısı, ateşleme bölgesindeki yakıttan, ekzotermik tepkimelerden ve soğutucudan elde edilir.



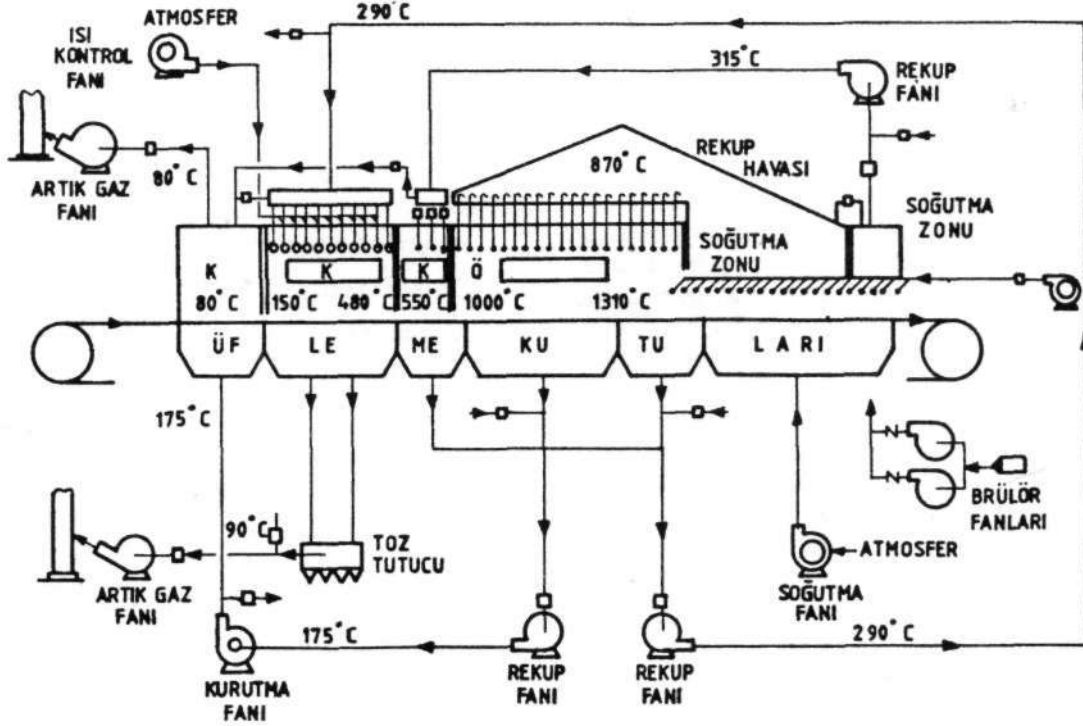
Şekil 11. Yatay ızgara peletleme sistemi

Bölgeler arasındaki ısı iletiminde fanlar kullanılır. Izgara üzerindeki pelet yatağından ısı, ya üstten ya da alttan emilerek geçirilir. Bu yüzden pelet yatak geçirgenliğinin iyi olması gerekir. Hava akış yönüne göre de bölgeler alttan ya da üstten emişli olarak isimlendirilir.

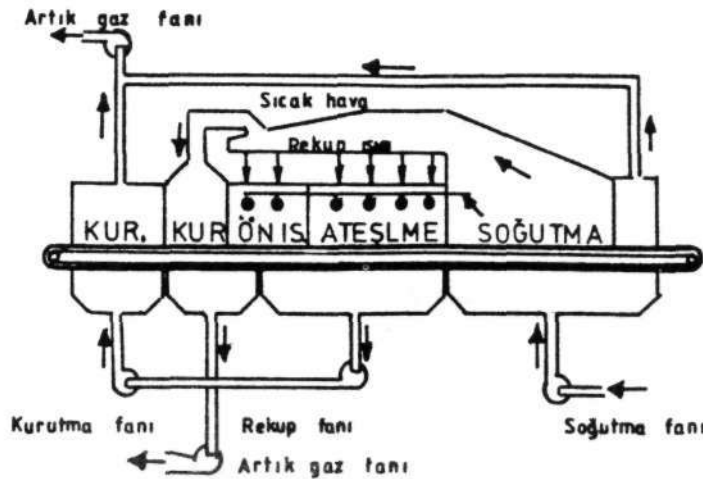
ABD'de bulunan Hamersley tesislerinde kullanılan sistemde, hematit cevherin peletlenmesi yapılmaktadır. Sistemde işletmecilik açısından basınç kontrolü kolaydır (Şekil 12)

(Leeds University).

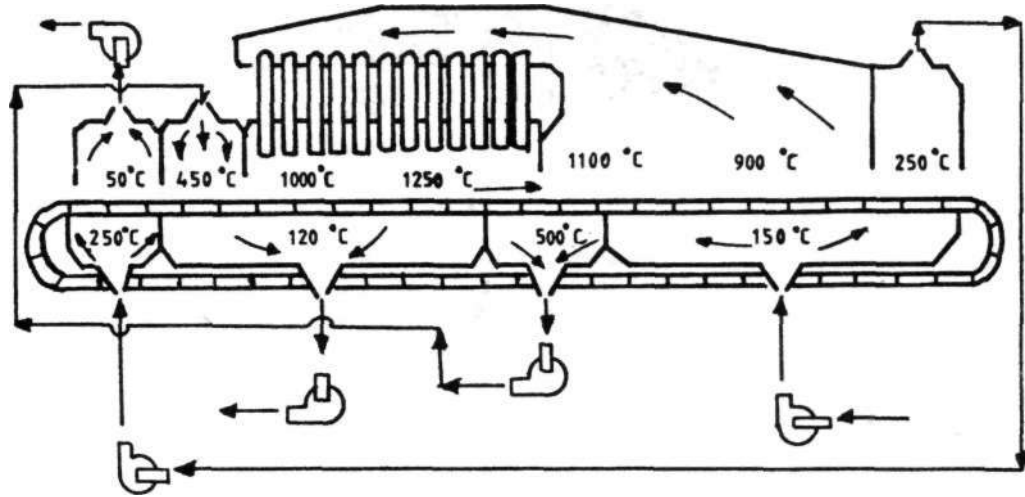
Dravo - Lurgi hareketli izgara peletleme sistemleri hematit, manyetit ya da karışımları için kullanılır. Sistemin en önemli özelliği soğutmadan elde edilen ısının doğrudan ateşleme bölgesine gelmesidir. Bu gaz hareketini sağlamak için ayrı bir fan kullanmaya gerek yoktur; ancak ateşleme bölgesinde basınç kontrolü oldukça zordur. Şekil 13'de (Ball ve ark., 1973) manyetit cevherinin peletlenmesin-



Şekil 12. Hamersley tesisi akım şeması



Şekil 13. Manyetit için Dravo - Lurgi hareketli izgara peletleme sistemi



Şekil 14. Malmberget (LKAB) ızgara peletleme sistemi

de kullanılan Dravo - Lurgi hareketli ızgara peletleme sistemlerinden biri görülmektedir.

Şekil U'de (Lkab, 1987) Malmberget (LKAB) ızgara peletleme sistemi görülmektedir. Bu sistemle Fe tenörü % 71,4 dolayında olan manyetit demir cevheri peletlenmektedir.

2.4.3. Izgara - Fırın Peletleme Sistemi

Izgara - fırın peletleme sistemi üzerinde Allis Chalmers tarafından 1950 yılında başlatılan çalışmalar, daha sonraki yıllarda geliştirilerek, sisteme oldukça geniş bir uygulanabilirlik kazandırmıştır. Sistem üç ana gruptan oluşmaktadır (Şekil 15) (Ball ve ark., 1973).

- Hareketli ızgara,
- Döner fırın,
- Dairesel soğutucu.

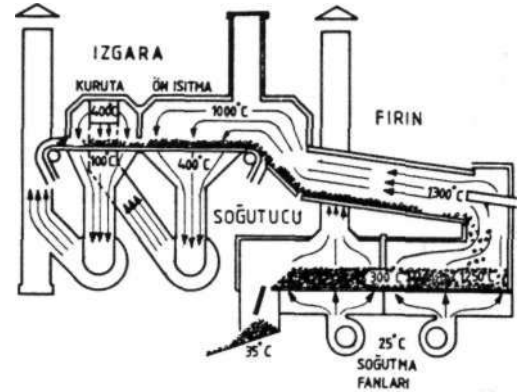
Hareketli ızgarada ham peletler kurutma ve ön ısıtma işlemlerinden geçirilirler. Ateşleme işlemi döner fırında gerçekleşir. Fırından çıkan ürün pelet, dairesel bir soğutucuda, çevre sıcaklığına düşürülür. Soğutma sırasında elde edilen ısı sistemde tekrar kullanılır.

Allis - Chalmers hareketli ızgara - fırın sisteminin uygulamalarından biri olan Divriği Pelet tesisinin akım şeması Şekil 16'da görülmektedir.

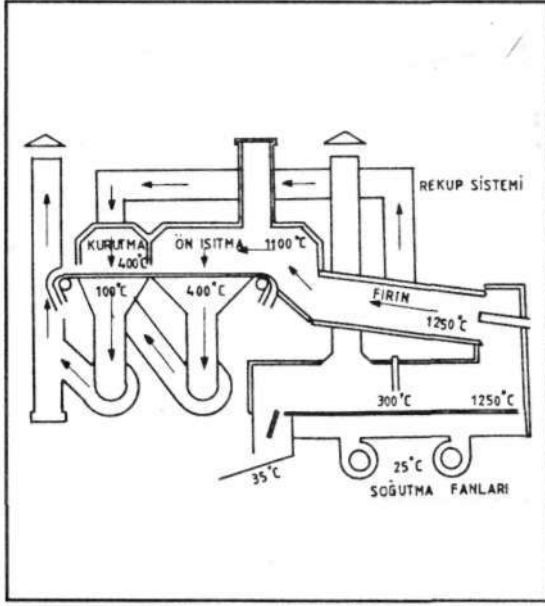
Şekil 17'de (Weiss, 1985) Allis - Chalmer-

sin başka bir uygulaması görülmektedir. Bu sistemde kurutma iki aşamada yapılmaktadır. Izgara ilk bölgedeki gaz akışı yatağın altından üstüne doğrudur. Bu yöndeki gaz akışı, direnci zayıf olan ham peletlerin basınç altında ve birbirlerinin ağırlığı ile ezilmesini önler. Yatağın geçirgenliği daha iyi olduğundan nemin ortamdan uzaklaşması daha kolaydır.

Şekil 18'de (Lkab, 1987) Kiruna (LKAB) pelet tesisi görülmektedir. Bu tesiste ızgara 4 böl-

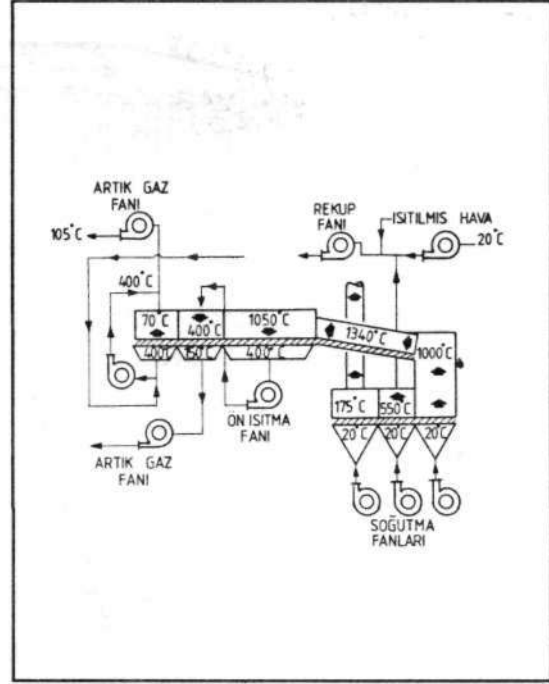


Şekil 15. Allis - Chalmers hareketli ızgara - fırın



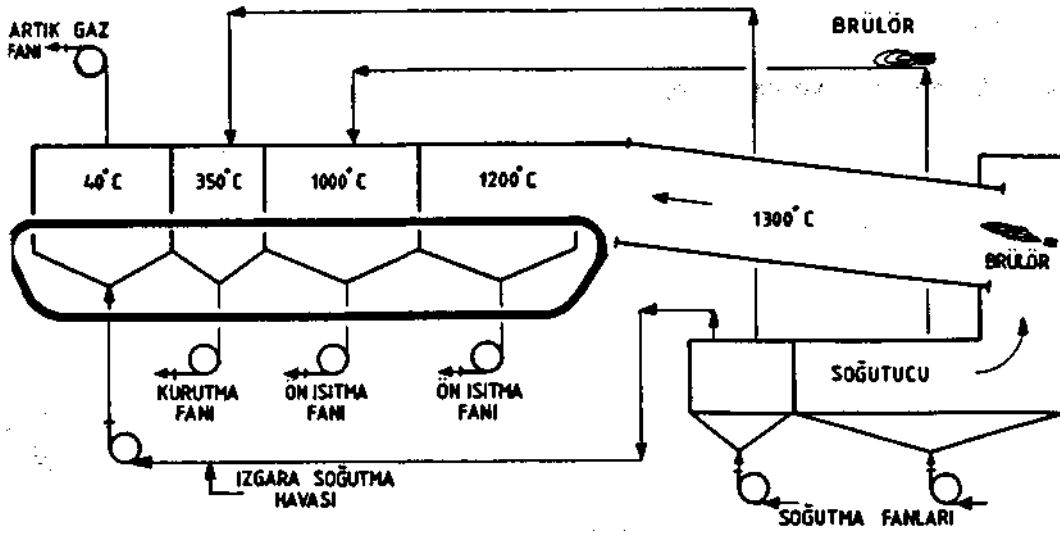
Şekil 16. Divriği pelet tesisi

meden oluşmaktadır. Sistem devreye alınırken ızgara için gerekli ısı ikinci bir brülör sisteminden geçici olarak sağlanır. Soğutucuya sıcak pelet geldiğinde, bu peletin soğutulması süresince geri kazanılan ısı sistemde kullanılır. Rekup tabir edilen bu sistem devreye girdiğinde brülör söndürülür.



Şekil 17. Allis Chalmers ızgara-fırın sisteminde gaz akışı

ızgara - fırın peletleme sisteminin seçiminde, cevherin yapısı önemlidir. Değişik sistem seçimi, işlem sırasında ısı gereksinimini en aza indirmesi için gereklidir.



Şekil 18. İzgara fırın peletleme istemi (1 "A B)

2.4.4. Soğuk ve Düşük Sıcaklıkta Peletleme Sistemi

Ürün peletin elde edilmesinde, sıcak işlemde üretim harcamalarının büyük bir bölümü yakıttan gelmektedir. Bu amaçla az ısı kullanarak istenilen ürün pelet kalitesini elde etmek için araştırmalar yapılmaktadır.

Soğuk ve düşük sıcaklıkta peletleme sistemi için bağlayıcı olarak çimento, karbonat gibi bazı kimyasal maddeler, sünger demir tozları kullanılmaktadır.

2.5. Peletleme Sistemlerinin Karşılaştırılması

Dikey fırın peletleme sisteminde işlemdeki ısı kaybı çok azdır. Bu sistem ile üretilen peletlerin oksitlenme yüzdesi daha fazladır ve yavaş soğutma nedeni ile peletler oldukça iyi metalurjik yapıya sahip olurlar.

Diğer sistemler ile karşılaştırıldığında dikey fırın sistemindeki makineler daha az ısı ile temas ederler ve ısıya dayanıklı malzeme kullanımı oldukça azdır. Bu da bakım ile ilgili harcamaların düşük olması demektir.

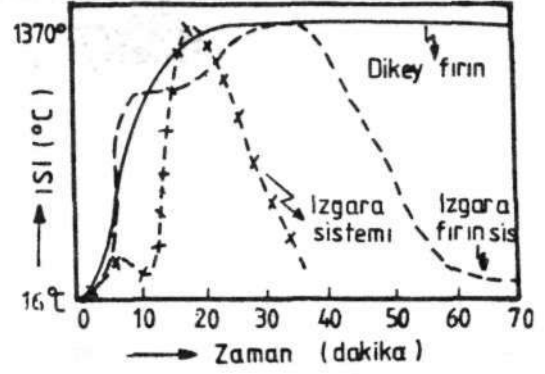
Yatay ızgara peletleme sisteminde pelet yatağı ızgara üzerinde işlem sonuna kadar aynı kalmaktadır. Bunun sonucu olarak üretilen pelet kalitesi değişken olmaktadır. ızgara - fırın sisteminde fırındaki yuvarlanma nedeni ile daha homojen yapıda pelet elde edilmektedir. ızgara - fırın sisteminde iyi bir ısı dağılımı söz konusudur. Isı değerleri hareketli ızgara peletleme sisteminde ve genellikle de ızgaranın iki yanında istenilen düzeyde değildir.

ızgara - fırın sisteminde ilk yatırım masrafları diğerine göre oldukça yüksektir. Kapasite söz konusu olduğunda ise ızgara - fırın ve yatay ızgara peletleme sistemi dikey fırına göre daha üstündür.

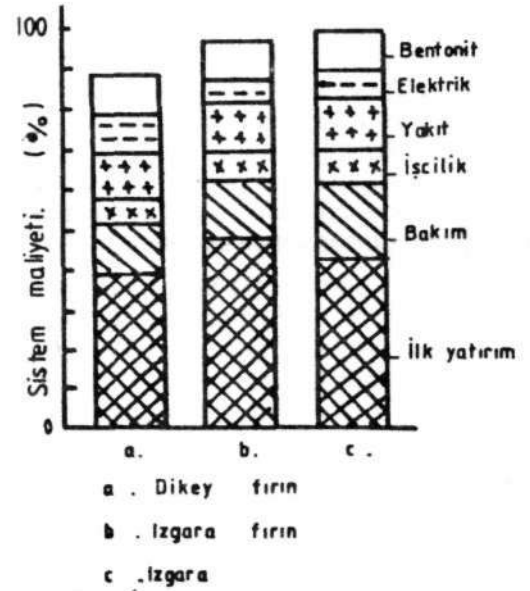
Peletleme sistemlerindeki zamana bağımlı olarak işlem ısıları Şekil 19'da, maliyet açısından karşılaştırmada Şekil 20'de görülmektedir (Srbve Ruzickova, 1988).

2.6. Peletlemede Kullanılan Deneyler ve Laboratuvar Deneyleri

İyi bir peletin elde edilmesi, peletleme süre-



Şekil 19. Peletleme sistemi işlem ısıları



Şekil 20. Peletleme sistemleri maliyet karşılaştırılması

cinin baştan sona kadar kontrolü ile olanaklıdır. Bu amaçla yapılan bir dizi fiziksel ve kimyasal deneyler bulunmaktadır.

1- Filtre Keki Kimyasal Analizleri: Ham peleti oluşturan filtre kekinin kimyasal yapısını kontrol etmek amacıyla yapılır. Bu analizlerle filtre kekindeki Fe, Si O₂, Al₂ O₃, CaO, Mn, Na, K, P, S, Fe O miktarları belirlenir.

2- Filtre Keki Fiziksel Analizleri: İyi bir ham peletin oluşabilmesi için, filtre kekinin belirli bir inceliğe kadar öğütülmüş olması gereklidir. Bu amaçla filtre kekinin elek analizleri ve özgül yüzey alanı (blaine) ölçümü yapılır. Cevherin mineralojik yapısına bağlı olarak peletleme için gerekli özgül yüzey alanı her cevher türü için ayrı olabilir. Bu değer genel olarak 1500 - 2000 cm²/gr. arasında değişir, iyi bir ham pelet elde edebilmek için ideal nem oranı % 9 - 9,5'dur.

3- Ham Pelet Düşürme Sayısı: Bu deney, topaklama tambur ya da disklerinden elde edilen ham peletin, ısısal işlemin uygulanacağı bölgeye kadar taşınması sırasında kırılmaması için gerekli dayanımda olup olmadığının kontrolü için yapılır. En az 10 adet hem pelet alınıp çatlayıncaya kadar 45 cm'den serbest halde bırakılır ve aynı işlem her pelet için tekrarlanır. Çatlamanın olduğu sayıya "ham pelet düşürme sayısı" denir. Bu sayının ham peletin ısısal işlemde geçeceği bölgeye gelinceye kadar, taşınma esnasında bir banttan diğer banta dökülme sayılarında fazla olması gerekir. Düşürme sayısının yüksekliği, ham peletin plastik olması anlamına gelir ki, bu da ısısal işlem sırasında ızgaradaki yatağın hava geçirgenliğine olumsuz yönde etki eder.

4- Ham Pelet Basma Dayanımı (ISO TC 102/SC 3 DP 4700): Bu deneyde 10 adet ham pelet basma dayanımına tabi tutulur. Iızgaraya serilen peletlerin birbirlerinin ağırlıkları ve basınç altında ezilmemeleri için bu değer önemlidir. Genellikle ham pelet basma dayanımları 1 kg/pelet'ten fazladır.

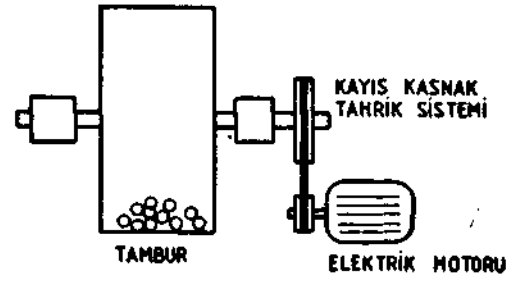
Ham peletin fiziksel kalitesini belirleyen en önemli iki etken düşürme sayısı ve basma dayanımıdır. Kullanılan katkı maddeleri, bağlayıcılar, filtre keki nemi, özgül yüzey alanı, topaklama koşulları, karıştırma, düşürme sayısı ve basma dayanımını doğrudan etkiler.

5- Ham Pelet Elek Analizleri: Bu elek analizleri ham peletin istenilen boyutlarda olup olmadığını belirlemek için yapılır. Ham pelet boyutlarındaki kötü bir dağılım, ısısal işlemlerde yatak geçirgenliğini azaltacaktır. Bu hiç istenmeyen bir durumdur.

6- Tambur Deneyi (ISO Standart 3271 1975 E): Deneyin amacı, peletin üretilmesinden kullanılacağı yere ulaşıncaya kadar ve kul-

lanım sırasında karşılaşılabileceği şartlara karşı dayanımını ölçmektir. Bu deney için $D=1000$ mm, $C=500$ mm bir tambur kullanılır (Şekil 21) (Meyer, 1980). Bu tamburun içinde, 2 adet 50 mm yüksekliğinde takoz bulunmaktadır.

Deney için 15 kg ağırlığında 105 °C'ye kadar ısıtılıp nemi alınmış, sonra oda sıcaklığında soğutulmuş pelet numuneleri kullanılır. Tambur içine yerleştirilen numuneler 25 devir/dak'da 200 tur döndürülür; sonra malzeme alınıp 6,3 ve 0,5 mm. eleklerde 2,5 dakika elenir, 6,3 mm elek üstü "Tambur İndeksi" 0,5 elekaltı "Aşınma indeksi" olarak değerlendirilir.



Şekil 21. Tambur deney düzeneği

7- Ürün Pelet Basma Dayanımı (ISO TC 102 / SC3 DP 4700): Bu deney, peletin taşınma stoklanma ve yüksek fırında şarj ağırlığı altında ezilip kırılmaması için gereklidir.

Basma dayanımı için alınan peletler 105 °C'de nemi alınıp oda sıcaklığında soğutulur. Bu peletlerin basma dayanımları hızı 10 mm/dak. olan biri sabit diğeri hareketli düz yüzeyli preste ölçülüp ortalaması alınır. Bu ortalamayı alırken çok düşük ve yüksek çıkan basma dayanımları değerlendirilmez.

8- Mikro Gözeneklilik: Gözeneklilik, peletin indirgenme hızına doğrudan etki etmektedir. Bu değer genellikle % 10 - 30 arasında değişir.

Gözenekliliğin hesaplanmasında gerçek (D) ve görünür (d) yoğunluklar ölçülür. Gerçek yoğunluğun ölçülmesinde piknometreden, görünür yoğunluğun ölçülmesinde ise cıva ile yer değiştirme yönteminden yararlanılır (Meyer, 1980).

Mikro gözeneklilik,

$$P = \frac{D-d}{D} \times 100(\%) \text{ formülünden hesaplanır.}$$

9- Ürün Pelet Elek Analizleri: Bu analiz, peletleme işlemi sonucunda tozlanma ve kırılmanın olup olmadığı konusunda bir fikir verme açısından önemlidir. 15 kg pelet 105 °C'da ısıtılıp nemi alınır ve soğutulur. Bu peletler 4 dakika süre ile genel olarak 3/4", 1/2", 3/8" ve 1/4"lik eleklerle elenir, sonuçlar değerlendirilir. İstenilen minimum pelet boyutu altının az olması peletin kalitesini gösterir.

10- Düşük Isıda Kırılma Deneyi (Dynamic Test, ISO/TC 102/SC 3, Section 87 286 E April 1974): Yüksek fırının verimliliğine etki eden en önemli unsurlardan biri, fırındaki malzemenin gaz geçirgenliğidir. Pelet, yüksek fırına şarj edildikten sonra üst bölgelerdeki düşük ısıda kırılma gösterirse, yatağın geçirgenliğini azaltacaktır. Peletin düşük ısıdaki dayanımını ölçmedeki amaç, yüksek fırınının üst bölgelerinde peletin nasıl bir değişime uğradığını görmektir.

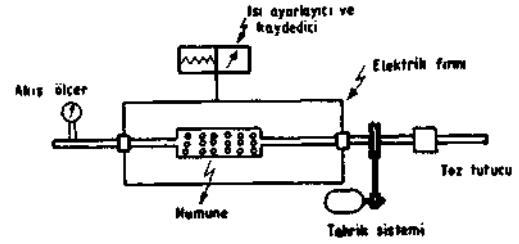
Bu test için 130 mm çapında delikli, yatay olarak bir elektrik fırınının içine yerleştirilmiş eksenini etrafında dönebilen bir sistem kullanılır. Pelet numunelerinin dönebilmeleri için silindirin içinde yer alan 20 mm genişliğindeki gövdeye eşit aralıklarla 4 adet kaldırıcı yerleştirilmiştir.

Yaklaşık 500 gr'lık pelet bu deney için 105 °C'da kurutulup nemi alınır. Numune 130 mm çapındaki delikli silindir içine yerleştirilir. Fırın 600 °C'a ısıtılırken sistem döndürülür, Ortamdan 15 lt/dk bir akış ile indirgeyici gaz geçirilir. Isıtma işlemi 45 dakika sürdürülür. Isıtma işlemi sürdürülürken silindir 10 devir/dak. ile döndürülür, 45 dakikadan sonra sistem 600 °C'de 60 dakika süre ile tutulup silindir aynı hızla döndürülmeye devam edilir. Bu arada sistemden aynı miktar ve bileşimde gaz geçişi sürdürülür. Sistemde kullanılan gaz % 20 + 0,5 CO, %20 + 0,5 CO2 ve %60 + 0,5 N2 karışımından oluşmaktadır.

Deney bittikten sonra silindirik kısım fırından alınarak 200 °C'ye üzerinden azot gazı geçirilerek soğutulur.

Deney sonucu indirgenmiş pelet numunesi 6,3 - 3,15 - 0,5 mm'lik eleklerle 2,5 dakika süre ile elenir. Eleme sonucu, sistemde yapılmış

ve toz tutuculardaki tozlarda göz önüne alınır değerlendirilir. Bu arada toplam numune ağırlığındaki kayıptan indirgenme miktarının saptanması da mümkündür. Şekil 22'de bu amaçla kullanılan deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 22. Düşük ısıda kırılma deney düzeneği

11 - Düşük Isıda Kırılma Deneyi (Static test, ISO/TC 102/SC3, Sec 98, July 76 341 E, Fourth Draft Proposal ISO / DP 4696). Dinamik deneyde kullanılan dönen yatak yerine bu deneyde sabit bir yatak vardır. Deneyin yapılışı ve amacı dinamik deney ile aynıdır.

12- Şişme Deneyi (ISO / TC 102/SC3, Section 89,288 E August 1974). Bu deney peletlerin şişme miktarını saptamak amacıyla yapılır. 100 + 10 °C derecede %40 CO ve % 60 N2 içerikli ortamda 15, 20, 75 ve 120 dakika süre ile % 25 - 80 indirgenen peletlerin deneyden önceki ve sonraki hacimleri ölçülerek şişmeleri saptanır.

13- İndirgeme Deneyi: Bu deney, peletin yüksek fırında indirgenebilme özelliğinin belirlenmesi amacıyla yapılır.

105 °C'de nemi alınmış numune iç çapı 75 mm olan çift duvarlı ısıya dayanıklı tüpe konur. Bu tüp sıcak elektrik fırınının içine yerleştirilir. Deney ısısına ulaşıncaya kadar ortamdan azot gazı geçirilir. Bu işlem yaklaşık 45 dakika sürer. Deney ısısında ise azot gazı yerine indirgeyici gaz gönderilir. (%30 + 0,5 CO, %70+0,5 N2, 15 lt/dak). Bu işlem 3 saat süreyle yapılır. Deney süresince sürekli ısı ve ağırlık kaybı kaydedilir. Deney bitiminde numune azot ile soğutulur. İndirgeme derecesi ağırlık kaybı ve kimyasal analizlerden hesaplanır.

14- Yük Altında İndirgenme Deneyi (ISO

TC 102/SC3430 E): Peletin İndirgenme işlemi sırasında yatak gaz geçirgenliğini kontrol etmek için yapılır.

Deneyin yapılmasında elektrik fırını ile birlikte 910 mm uzunluğunda 125 mm iç çapında çelikten yapılmış bir tüp kullanılır. Pelet numunesine yük verebilmek için bu tüpün üzerinde hava ile çalışan bir piston vardır. Tüpün içine numune konulduktan sonra üstten pistonla basınç uygulanır, indirgenme sırasında deney boyunca meydana gelen ağırlık kaybını belirlemek amacıyla duyarlı bir tartı cihazında sisteme yerleştirilmiştir. Pistonun, meydana gelen hacim değişikliği sonunda aşağı yukarı hareketi, sistemdeki bir mikrometre aracılığı ile ölçülür.

Deney numunesi 105 °C'ye kadar ısıtılıp nemi alınır. Tüpe yerleştirilir. Numune 1050 °C'a kadar sistemden azot gazı geçirilerek ısıtılır. 1050 °C'de terazi sıfırlanır. Piston aracılığı ile numuneler üzerine 500 gr/cm² lik bir kuvvet uygulanır. Sistemden 2,5 saat süre ile indirgeyici gaz % 40 CO ve %60 N₂ geçirilir ve indirgeme izlenir. Bu süre içinde %80 indirgenme gerçekleştirilemez ise deney süresi daha da uzatılabilir.

15 - Yapışma Deneyi (ISO/TC 102/SC3 429 E, RMC): Bu deney ile değişik sıcaklıklarda peletin yapışma özelliği incelenir. Pelet yatağı üzerinden içeriği %55 H₂, %35 CO, %6 CO₂-- %4 CH₄ olan 760 °C - 870 °C arasındaki gaz geçirilir. Daha sonra soğutulan peletier 25,20,16 mm'lik elekler ile elenir, +16 mm yapışma kriteri olarak değerlendirilir.

3. SONUÇ

Peletleme teknolojisi sürekli bir değişim içindedir, işlemi kolaylaştırıcı bazı çalışmalara

rın yanısıra daha kaliteli pelet üretimi için de araştırmalar süregelmektedir. Dünyada değişik katkı maddeli peletier üretilmektedir, ayrıca ürün pelet boyutları da kullanım amacına göre değiştirilmekte "Jumbo pelet" olarak tanımlanan daha büyük çaplı peletier üretilmektedir. Bu peletier uygun boyutlarda kırılıp, yüksek fırınlar için daha uygun hale getirilmektedir. Yüksek fırınlarda çalışma verimliliğini belirleyen en önemli etken olan kok tüketip, pelet kullanımı ile 475 kg/tona kadar düşmüştür. Bu değeri daha da aşağılara indirmek için çalışmalar sürdürülmektedir.

KAYNAKLAR

- AKETA, K., UEHARA, T., SUGIYAMA, T., IGAWA, Y., 1988, "General Review of Fluxed Pellet Development at Kobe Steel ", Mineral Resources Research Center and Center for Professional Department, Duluth, U.S.A.
- BALL, D.F., DARTNELL, J., DAVISON, J., GRIEVE, A., WILD, R., 1973 "Agglomeration of Iron Ores", Elsevier Publishing Co. New York, U.S.A.
- LEDDS UNIVERSITY, "Course Notes on Sintering and Pelletizing", Leeds, U.K.
- LKAB, 1987, "Facts About LKAB", Sweden
- MEYER, K., 1980, "Pelletizing of Iron Ores", Springer - Verlag Berlin Heidelberg and Verlag Stahlisen mbH, Düsseldorf, Germany
- SRB, J., RUŽICKOVA, Z., 1988, "Peptization of Fines", Research Institute Prague, Czecholovakia
- STUDIENGESELLSCHAFT FÜR EISENERZAUFBEREITUNG, 1970, "Untersuchungen über die Eignung verschiedener Bentonite für den Einsatz bei der Eisenorzpelletierung", Othfresen, Germany.
- WEISS, N.L., 1985, "SME Mineral Processing Handbook", Society of Mining Engineers of AIME New York, U.S.A.