

**TÜRKİYE MADENCİLİK BİLİMSEL
VE TEKNİK 5.KONGRESİ
14-18/2/1977. dsı salonu/ankara**

KÜRESEL
AGLOMERASYON
GELİŞİMLER

**TMMOB
MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI**

KÜRESEL AGLOMERASYON YÖNTEMİNDEKİ GELİŞMELER

Dr. Halim DEMİREL* Hüseyin ÖZDAĞ'

Özet :

Bu bildiri de sulu küresel aglomerasyon tekniğinin ana hatları ve gelişimi kısaca verilmiştir. Küresel aglomerasyon tekniği katı taneler içeren sulu süspansiyona, karışma yan ikinci bir sıvı ekleyerek katı tanelerin selektif olarak bu ikinci sıvı tarafından önce flokül haline sonra da pelet haline gelmesi işlemidir. Endüstriyel uygulamaları bildiri de örneklendirilmiştir.

Abstract :

In this paper a brief outline and development of wet spherical agglomeration process is given. In this process a immiscible second liquid which is added to a suspension acts as bridging liquid between the solid particles and first the flocs form then the spherical pellets form potential application of this technique in a number of fields are suggested by the use of specific examples.

Giriş :

İnce tanelerin aglomerasyonu, endüstriyel işlemlerde önemli bir basamak oluşturur. Örneğin, yüksek fırında

(*) Maden Müh. Hacettepe Üniversitesi, Yer Bilimleri Enst. Öğretim Görevlisi.

(**) Maden Yük. Müh. Hacettepe Üniversitesi, Yer Bilimleri Enst. Asistanı.

olumlu bir indirgeme elde edebilmek için besleme malzemesinin tane iriliği belirli bir sınırın üstünde olmalıdır. Diğer işlemlerde tane iriliği arttırılmca takibeden filtrasyon, paketleme, vb. işlemler kolaylaşır. Aglomera elde etmek için birçok yöntemler geliştirilmiştir. Bu makalede oldukça yeni olan küresel aglomerasyonun gelişimi anlatılacaktır.

Küresel aglomerasyon işleminde, su fazında bulunan tanelerin boyut büyütülmesi sözkonusudur. Tane boyutunun büyütülmesi birkaç yolla sağlanabilir. En eski yöntemeye göre, boyut büyümesi, süspansiyona elektrolit eklenerek elde edilir. Elektrolitin eklenmesi kolloid tanelerin zeta - potansiyelinin küçülmesine, böylece taneler arasında hazır bir yapışmaya yol açar. Elde edilen birbirine yapışmış (pıhtı) taneler oldukça zayıf ve hacmen büyüktür. Daha yakın geçmişte uygulanan polimer bileşimleri birey taneler arasında köprü oluşturarak süspansiyonun flokülasyonunu sağlamıştır. Büyük fakat zayıf floklar veya aglomeralar oluşmuştur. Bu polimerik flokülantlar maden ve kimya endüstrisinde şamların ve tortuların işlenmesinde geniş şekilde uygulama alanı bulmuştur. Flokların veya aglomeraların çökeltilmesi ve filtrasyonu, süspansiyonda dağılmış taneciklerinkinden daha kolay yapıldığı görülmüştür. Yusa⁷ ve arkadaşları polimerlerle bağlanmış flokların sıkıştırılarak küresel aglomeralar oluşturulmasında çalışmalar yapmışlardır. Yarar, B. ve Kitchener²² ile Friend ve Kitchener³⁰ polimerik flokülantların, karışık mineral süspansiyonundan bir minerali selektif olarak floküle etmekte kullanılabileceğini, böylece bu minerali, floküle olmamış mineralden ayırmanın mümkün olacağını göstermişlerdir.

Küresel aglomerasyon işleminde, sulu süspansiyon içinde ince taneler halinde dağılmış katılar, katıyı tercihan ıslatan ve birinci sıvı ile karışmayan ikinci bir sıvı ile işleme tabi tutulur. Bu ikinci sıvıya «köprü sıvısı» denir. Süspansiyon karıştırıldığında köprü sıvısı, serbest katı tanelerin yüzeylerine dağıtılır. Tanelerin çarpışması sonucu, köprü sıvısı çarpışan taneler arasında sıvı bağlantıları oluşturur. Taneler arası bağlanma kuvveti, ilgili sıvıların iç yüzey gerilimi ile

ayarlamr. Bu olay ilk kez Kruyt ve Van Selms¹ tarafından yayınlanmıştır. Bunlar, küçük cam kürecikleri, halojenleştirilmiş hidro karbonu ve kömürü su ile süspansiyon haline getirip, öncelikle karışmayan üçüncü bir faz ekleyerek flokülasyon etkilerini incelemişlerdir. Daha sonra Stock² kuru benzen içinde asılı bulunan baryum sülfat şiddetli şekilde karıştırılınca yoğun flokların elde edildiğini göstermiştir. Simth ve Puddington'm³ araştırmaları sonucu, Stock'un elde ettiği yoğun flokların oluşması için çok az miktarda su gerektiği kanıtlanmış ve yukarıda belirtilen iki bağımsız gözlem arasındaki bağıntı keşfedilmiştir. Bu çalışmalar, sonraki yıllarda şimdi küresel aglomerasyon adı verilen işlemin gelişmesine yol açmıştır.

Süspansiyonun karıştırılmasıyla elde edilen aglomeraların oluşması; ikinci sıvının miktarına, karıştırma tip ve derecesine, katıların tane iriliği ve tane iriliği dağılımına ve katıların şartlanmasına bağlıdır.³⁰

Küresel aglomerasyon işleminde diğer önemli bir konu, katı yüzeylerinin, birbirine karışmayan iki sıvı tarafından relatif ıslanabilirliğidir. Eğer bir süspansiyonu oluşturan kâti taneler süspansiyon sıvısı tarafından tercih edilirse, ikinci sıvı ile karıştırıldığında aglomera elde edilemez. Örneğin, hidrofilik bir katı, su ile karışmayan ikinci bir sıvı ile karıştırıldığında aglomera elde edilemez. Bununla beraber, süspansiyondaki katı tanelerin yüzeyleri yüzey şartlandırılmasıyla herhangi bir sıvıyı tercih etmesi sağlanabilir. Birkaç değişik tanelerden oluşmuş süspansiyona uygulanacak selektif yüzey şartlandırması ve ikinci bir sıvı eklenmesi ve karıştırılması ile sadece istenen tanelerin aglomerasyonu elde edilir.⁴² Ancak farklı tanelerin birbirinden fiziksel olarak ayrılmış olması gereklidir.

Uygulama Alanları :

Küresel aglomerasyon oldukça yeni bir yöntem olmakla beraber, aşağıdaki teknolojik uygulamaları sıralayabiliriz :

1 — Yoğun, oldukça küresel aglomeraların oluşturulmasında,

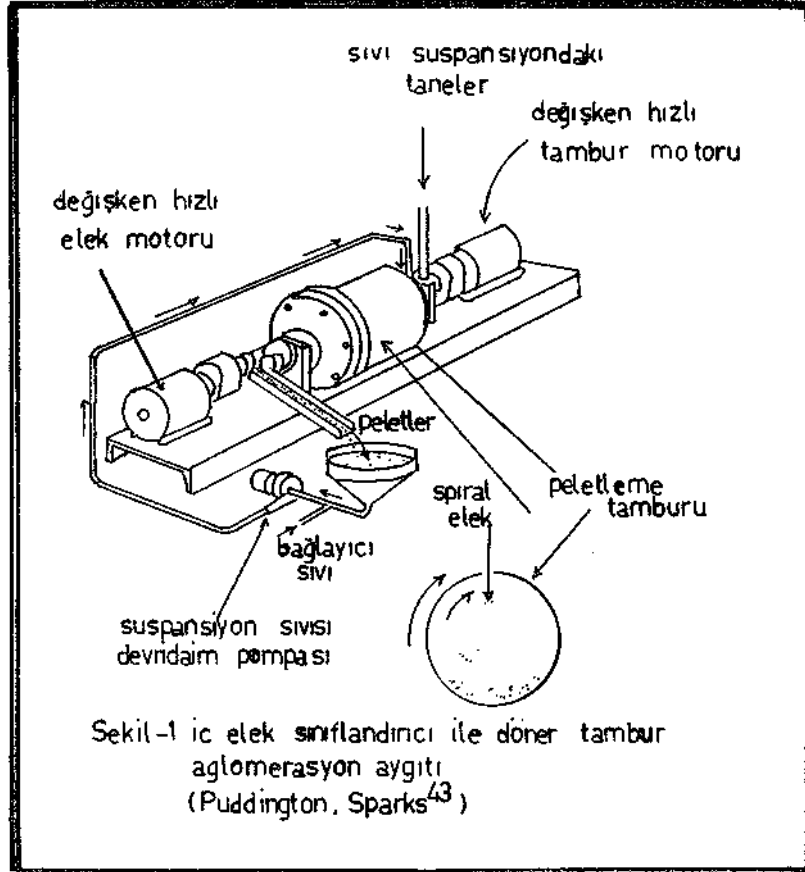
- 2 — Sulu süspansiyon içindeki ince tanelerin toplanmasında veya bunun tersi olarak, birbirine karışmayan iki sıvıdan oluşmuş karışıma ince taneler atıp karıştırarak sıvılardan birini ayırmada,
- 3 — Cevher zenginleştirmede : Kompleks minerallerin kademeli olarak elde edilmesinde kullanılmaktadır.

Peletleme ve Kürelerin. Oluşması :

Bağlayıcı sıvı ile tanecikler arasında oluşan bağlar zayıf olup taşınma sırasında hemen dağılılabirler. Bu nedenle, sağlam pelet elde etmek için kuvvetli mekanik enerji uygulanması gereklidir. Peletlerin pekişmesi ve küreselleşmesi, peletlerin birbirine ve bulunduğu kabın iç yüzeyine defalarca çarpması ile sağlanır. Bununla birlikte, yeterli bağlayıcı sıvı bulunmasının oluşturacağı multi - köprüler küresel aglomerasyonda kritik bir gereksinimdir. Küresel aglomerasyon işleminde sisteme giren, oldukça büyük enerji nedeniyle peletler arası çarpışmalar, düzenli boyutta küresel pelet oluşmasını sağlar. İlk oluşan çekirdek aglomeraların çarpışma ve sürtünme sonucu büyümesinde de pelet büyüklüğü kontrol edilebilir.

Bu işlemin avantajı, sinterleme veya presleme işlemlerinden sonra gereken öğütme v.b. işlemlerin ortadan kaldırılmasıdır. Örneğin, çok küçük tanelerin istenilen şekilde kullanılabilmesi için sinterlenmeleri veya preslenmeleri gerekmektedir. Çok küçük tanelerin akımı kolay değildir. Genellikle dar boğazlarda köprü oluşturarak akımı zorlaştır. Bunun sonucu olarak otomatik preslerde elde edilen briketler veya diğer şekillerde boyutsal ve özgül ağırlık yönünden farklılıklar oluşur. Bu sorunu önlemek için ince taneler peletlenerek, daha iyi akım özelliği sağlanabilir. Peletlerin şekli önemli olmamakla birlikte kalıba girdiği zaman ezilebilecek nitelikte olmalıdır. Bu tür zayıf pelet elde etmek için genellikle, bağlayıcı sıvı tambur veya devridaim pompasına verilerek zayıf bir karıştırma uygulanmalıdır. Sağlam pelet istendiğinde kuvvetlendirici reaktif bağlayıcı sıvı içinde eritilerek eklenebilir. Genel olarak tane iriliği küçüldükçe ve karıştırma arttıkça bağlayıcı sıvı miktarı azalır.

Küresel aglomerasyon tekniğinde katı taneleri taşıyan sıvı ortam, kuru peletleme tekniğine oranla birkaç avantaj sağlamaktadır. Bunlardan birincisi, taşıyıcı sıvının, bağlayıcı sıvıyı dönen katı tanelerin çevresine düzenli olarak yayması, ikincisi bağlayıcı sıvının yerel birikimi sonucu oluşan kontrolsüz pelet büyümesini önlemesi, üçüncüsü sıvı taşıyıcı ortamın istenilen dönme ve çarpma hareketini sağlaması ve böylece düzenli boyutta pelet elde edilmesi ve dördüncü olarak da sıvı ortam olması nedeniyle peletleme aygıtı içine yerleştirilecek spiral ekle pelet büyüklüğünün kontrol edilmesidir. Tipik bir küresel aglomerasyon düzeni Şekil -1 de verilmiştir.



Bu düzen yatay bir peletleme tamburu ile içinde daha yavaş hızda dönebilen spiral elekten oluşmaktadır. Bu elek sürekli olarak oluşan peletleri tambur eksenini boyunca çıkışa sürüklemekte ve büyüklüğü elek deliğinden küçük olan peletleri tekrar tambura göndermektedir. Ayrıca bir taşıyıcı sıvı devridaim pompası ve pelet çıkışında hazneli elek sistemi içermektedir. Birçok mineral konsantreleri kuru ve toz halinde elde edilmektedir. Bunların taşınması hem çevre kirliliğine ve hem de kayıplara yol açmaktadır. Küresel aglomerasyon tekniği bu kayıpları önlemek ve ayrıca taşıma kolaylıkları sağlamak için rahatlıkla kullanılabilir.

Katıların Sıvıdan Ayrılması :

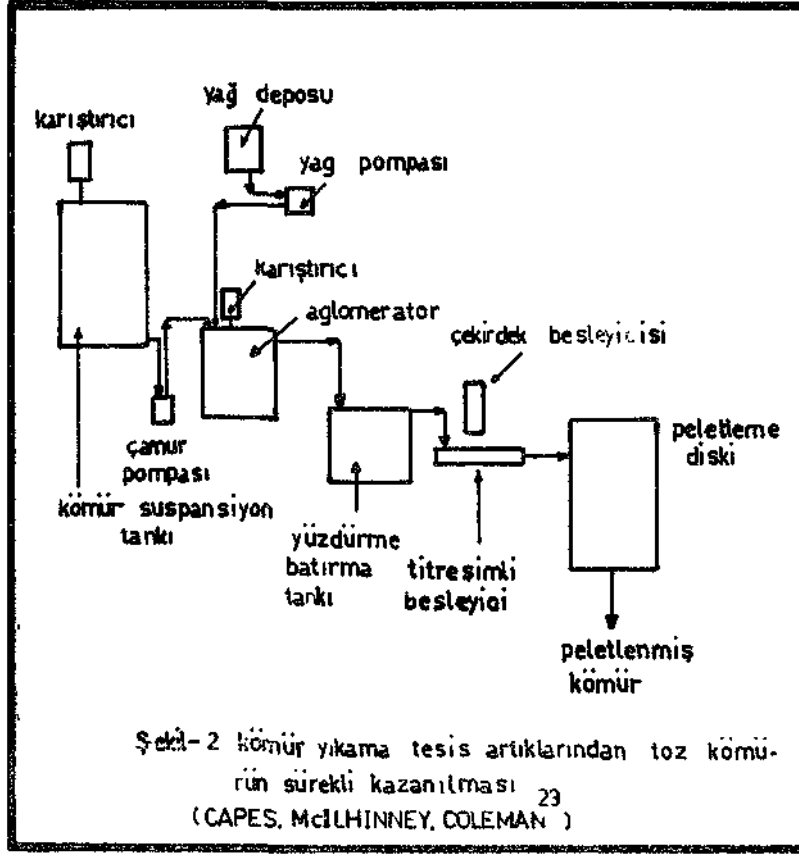
Endüstri ve cevher hazırlama artıkları genellikle süspansiyon halindedir. Bunların çeşitli amaçlar için sudan arıtılması gereklidir. Ayrıca, içindeki bazı kıymetli mineralleri kazanmak, alışlagelmiş yöntemlerle (çöktürme, filtrasyon, santrifüjleme, vb.) yetersiz görülmektedir.

Küresel aglomerasyon yöntemi ile süspansiyondaki tanelerin çökme hızını artırarak ve sediment hacmini azaltarak katı tanelerin sıvılardan ayrıştırılmasını hızlandırmak mümkündür. Optimum koşullarda, pelitlerin boşluk hacimlerinin küçük olması ve pelet yatağının hızlı drenaj özelliği nedeniyle katı-sıvı ayırımının tam olduğu görülmüştür.

Küresel aglomerasyon tekniği, filtrasyon hızını arttırmak için ekonomik olarak kullanılmaktadır. İnce taneli süspansiyonlara flok oluşacak kadar bağlayıcı sıvı ekleyerek filtrasyon hızı arttırılmaktadır. Örneğin, fosfatın fosforik asidin sulu sistemiyle elde edilirken asit içerisinde jelatin şeklinde veya çok ince taneler halinde kalsiyum sülfat oluşmaktadır. İstenmeyen bu katılar oldukça viskoz olup konsantre asitten filtrasyonları olanak dışıdır. Bu nedenle, asidin sulandırılması, filtrasyonu ve tekrar konsantre asit haline getirilmesi gerekmektedir ki bu da oldukça zahmetli bir işlemdir. Buna karşılık, kalsiyum sülfat, alkali benzen sulfonat ile şartlandırıldıktan sonra katı hacminin yüzde 1 - 2 si

kadar kerosen ile kuvvetle karıştırıldığında konsantre fosforik asit filtrasyonu mümkün olmuştur.¹⁹

Sulu bir ortamdan yalnız bir katı, konsantre olarak alınmak istendiğinde, selektif küresel aglomerasyon tekniği uygulanabilir. Şekil - 2, kömür yıkama tesisine yerleştirilen sürekli küresel aglomerasyon sistemini göstermektedir.²³⁻³⁰ Bu sistem kömür artıklarındaki ince kömür tanelerini şistten ayırmada kullanılmakta ve kül miktarı azaltılmış kömür peletleri oluşturmaktadır.



Kömür artık çamuru (% 10W/V konsantrisinde) tankta hafif bir yağ ile karıştırılarak kömür tozlarının flokülasyonu sağlanır. Sonra yüzdürme - çökeltme tankının alt akımı şist olarak gider ve üst akımdan alman floküle edilmiş toz kömür, çekirdeği oluşturacak iri kömürle peletleme aygıtına gönderilir. Burada yağ eklemesiyle oluşacak kuvvetli peletler son ürün olarak alınır. Pelet büyümesi tabakalaşma esasına göre, ince kömürün çekirdekler üzerine tabakalar halinde katmanlaşmasıyla oluşur. Tabakalaşma hızı, beslenen çekirdek ve kömür floklarına bağlı olarak değişmektedir. Elde edilen kömür peletleri, kül, kükürt ve yanma özelliği yönünden orijinal kömürden daha iyi nitelikte olduğu görülmüştür.³⁰

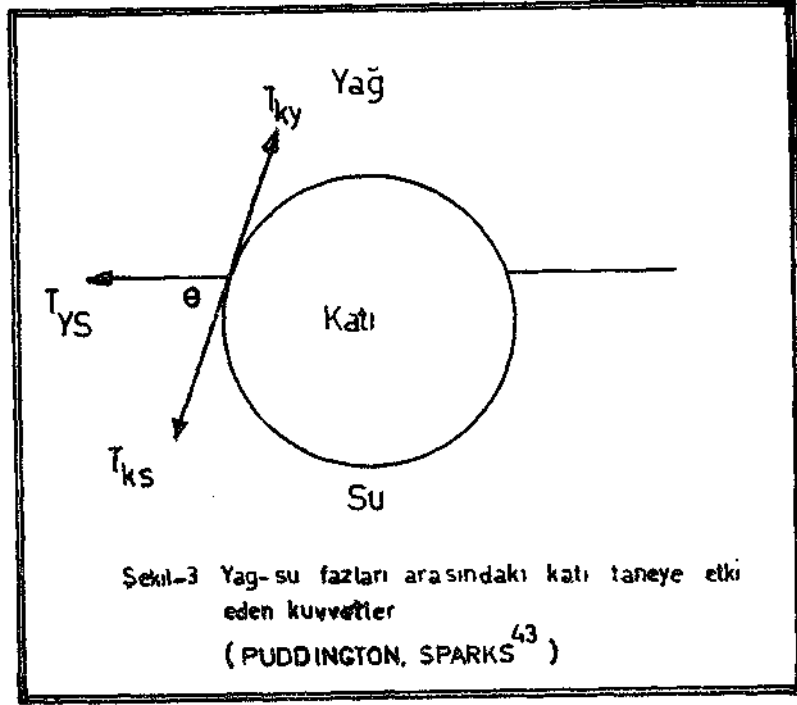
Cevher Hazırlamaya Uygulanması :

Küresel aglomerasyon tekniği, cevher içinde az bulunan fakat ekonomik değeri yüksek olan minerallerin kazanılmasında kullanılmaktadır. Bu tekniğin başarılı olarak uygulanması, normal küresel aglomerasyon sisteminde peletleri oluşturan tanelerin arasını dolduran yağdan çok yağ kullanmaya bağlıdır.

İşlem, esas olarak karışmayan iki sıvı içindeki katının bir sıvı tarafından kaplanması ve böylece ikinci sıvı ve diğer katılardan ayrılmasını kapsar.

Toplama sıvısı olarak genellikle ağır yağlar kullanılır. Yüzey şartlandırılması yapılmış mineral tanelerinin yağ fazına geçmeleri, yavaş fakat tanelere yüksek sürtünme kuvveti uygulayan karıştırma sistemleriyle sağlanır. Deneyler sonucu toplama işleminin bilyalı değirmenlerde cevher öğütülürken yapılabileceği gösterilmiştir.

Tanelerin yağ tarafından adsorpsiyon mekanizması Şekil - 3 de gösterildiği gibi olmaktadır. Yağ, su fazları arasındaki katı tane relatif yüzey gerilimlerinin etkisi altında kalır²⁴.



Denge halinde :

$$T_{ky} = T_{ks} + T_{ys} \cos \theta$$

Burada, T_{ky} , T_{ks} ve T_{ys} sırasıyla katı-yağ, katı-su ve yağ-su fazları arasındaki serbest enerjilerdir. Yukarıda verilen şekilde θ açısına bağlı olarak üç koşul oluşabilir;

- 1) Eğer $0 < 90^\circ$ ise tane sulu faza *geçme* eğilimindedir.
- 2) Eğer $\theta = 90^\circ$ ise tane yağ/su ara yüzeyinde konsantre olma eğilimindedir.
- 3) Eğer $\theta > 90^\circ$ ise tane yağ fazına *geçme* eğilimindedir.

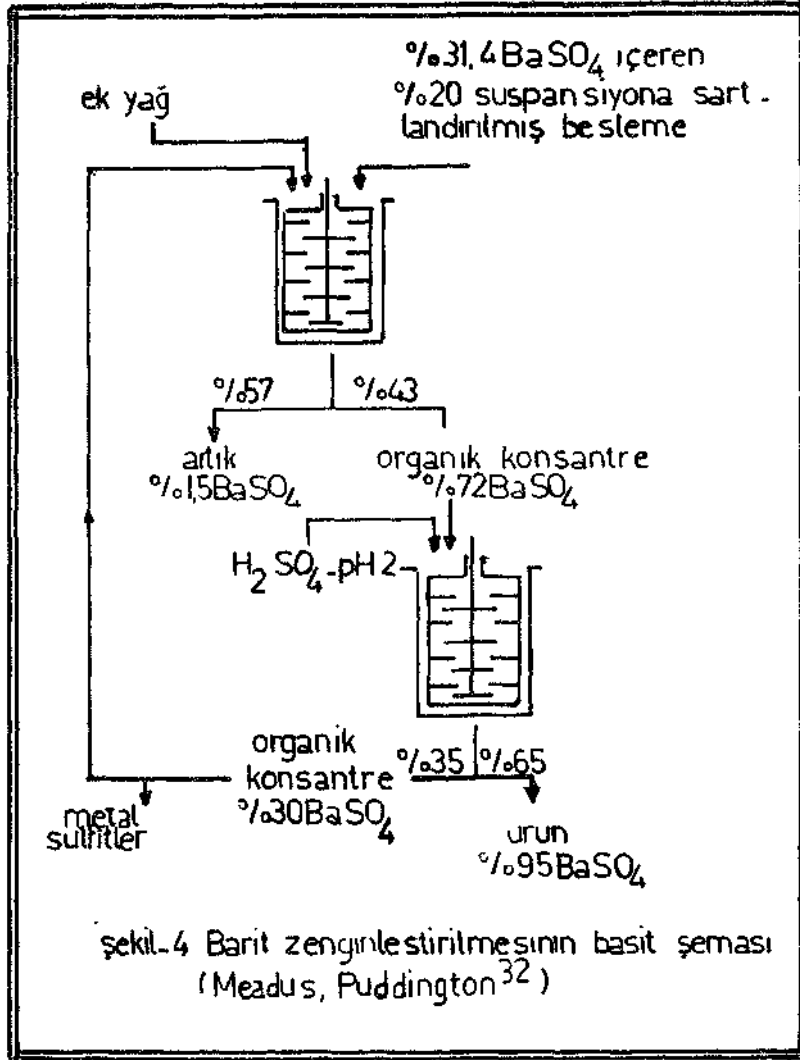
Üçüncü koşul sağlandığında selektif küresel aglomerasyon oluşur. Bu durumda yağ/su ara yüzeyinde biriken taneler yağ fazına geçerek katı tanelerin yağ tarafından adsorp-

siyonunu arttırır. Eğer birinci ve ikinci koşullar oluşursa taneleri ayırma verimi, tanelerin tutanacağı yüzey alanına bağlı olacaktır. Ağır yağ, ortama, kütle fazı şeklinde verilirse oluşacak ara yüzey alanı küçük olacağından düşük verim elde edilecektir. Bu nedenle ağır yağ emülsiyon haline getirildikten sonra ortama verilmektedir. Yağ fazı ile yağ fazına geçen mineraller hava flotasyonu ile elde edilir^{9>35}.

Selektif küresel aglomerasyon yönteminde, istenilen büyük ıslatma açılarına erişmek için flotasyonda kullanılan daha çok miktarda toplayıcı kullanılmalıdır. Bununla birlikte, serbestleşme tane iriliği küçük olan minerallerin kazanılmasında küresel aglomerasyon yöntemi kullanıldığında verim daha yüksek olmaktadır.⁴³ Bunun nedeni ise minerallerin yağ tarafından adsorpsiyonundan sonra kolay kolay bırakılmadığından ileri geldiği düşünülebilir. Süspansiyondaki mineral tanelerinin ayrılacak olanları için yüzey şartlandırması gereklidir. Böylelikle yağ tarafından adsorbe edilen mineral taneleri, bu taneler için kuvvetli çöktürücü kullanılarak adsorbe edilen mineral taneleri yağdan alınabilir. Uygun koşullarda mineral taneleri yağdan ayrıldığında tenörde artma görülmektedir.

Bu yöntemin en iyi örneği, kurşun - çinko artıklarından yüksek tenörlü barit kazanılmasıdır³². Baritin dört kademe de flotasyonu % 95 barit tenörü vermiştir. Fakat verimi, kullanılan baritin % 25'i olmuştur. Buna karşılık iki kademe yapılan küresel aglomerasyonda aynı tenörde bariti % 80 verimle kazanmak mümkün olmuştur. Bu düzenin basitleştirilmiş akım şeması Şekil - 4 de verilmiştir. Yüksek verimli barit ürünü yanında, diğer yöntemlerde artığa kaçan kurşun - çinko yağ fazında konsantre halinde elde edilmektedir.

Küresel aglomerasyon yönteminin ana reaktifi hidrokarbonların günümüzdeki fiyatlarının yüksek oluşu endüstriye uygulanmasını ekonomik kılmamaktadır. Ancak elde edilecek ürünün piyasa değeri yüksek ve diğer yöntemlerle zenginleştirmenin olanak dışı veya daha pahalı olduğu durumlarda ekonomik olarak kullanılabilir. Örneğin, altın zenginleştirme tesislerinin artıklarında kaçak olarak bulunan çok



ince öğütülmüş ve diğer yöntemlerle kazanılması olanak dışı olan altın tanecikleri küresel aglomerasyonla kazanılabilir. Bu yöntemin uygulanması laboratuvarında ve endüstride başarıyla gerçekleştirilmiştir²¹.

Sonuç :

Küresel aglomerasyon yönteminin henüz büyük çapta endüstriyel uygulaması olmamakla birlikte bir çok alanda oldukça başarılı olacağı gösterilmiştir³⁶⁻⁴⁴. Endüstriyel uygulamaların bazıları, kömür yıkama tesislerinde artıkların çevre sorunu yaratmamaları, petrol ürünlerinin içindeki empüritelerin toplanması amacıyla kullanılmaları, vb. dfr.

Yararlanılan Kaynaklar :

- 1 — KRUYT, H.R., and VANSELMS, F.G. : The influence of a third-phase on the rheology of suspensions. Rec. Trav. Chim. Vol. 62, 1943, pp. 415-426.
- 2 — STOCK, D.I. : Micro - spherical aggregation of barium sulphate. Nature, Lond., Vol. 170, 1952, p. 423.
- 3 — SMITH, H.M., and PUDDINGTON, I.E. : Spherical agglomeration of barium sulphate. Can. J. Chem., Vol. 38, 1960, pp. 1911 -1916.
- 4 — FARNAND, J. R., SMITH, H. M., and PUDDINGTON, I. E. : spherical agglomeration of solids in liquid suspension. Can. J. Chem. Engng, Vol. 39, 1961, pp. 94-97.
- 5 — SUTHERLAND, J.P. : The agglomeration of aqueous suspensions of graphite Can. J. Chem. Engng, Vol. 40, 1962, pp. 268-272.
- 6 — SUTHERLAND, J.P. : Spherical agglomeration - a new technique for treating suspensions. Chem. Can., Vol. 14, 1962, pp. 36.
- 7 — YUSA, m., and GAUDIN, AM. : Formation of pelletike flocs of kaolinite by polymer chains. Bull. Am. Ceram. Soc, Vol. 43, 1964, pp. 402-406.
- 8 — FARNAND, J.R., MEADUS, F.W., TYMCHUK, P., and PUDDINGTON, I.E. : The application of spherical agglomeration to the fractionation of a tincontaining ore. Can. Metall. Q., Vol. 3, 1964, pp. 123-135.
- 9 — MELGREN, O., and SHERGOLD, H.L. : Method for recovering ultrafine mineral particles by extraction with an organic phase. Trans. Inst. Men. Metall. Vol. 25, 1966, pp C267-268.
- 10 — MEADUS, F. W., MYKYTIUK, A., PUDDINGTON, I. E., and MACLEOD, W. D. : The upgrading of tin ore by continuous agglomeration. Can. Min. Metall. Bull. Vol. 59, 1966, pp. 968-970.
- 11 — CPES, C.E.A. : Note on size distribution in granulation, balling wet pelletization. Chem. Engr. Lond., No. 207, Apr. 1967, pp. CE78-CE80.
- 12 — COLEMAN, R.D., SUTHERLAND, J.P., and CAPES, CE. : Reduction of the calcite content of ground shale by liquid - liquid particle transfer. J. Appl. Chem., Vol. 17, 1967, pp. 89-90.
- 13 — LAI, R.W.M., and FUERSTENAU, D.W. : Liquid - liquid extraction of ultrafine particles. Trans. Soc. Min. Engrs. AIEM, Vol. 241, 1968, pp. 549-556.

- MEADUS, F.W., and PUDDINGTON, I.E.: Pellet technology. *Can. J. Chem. Engng.* Vol. 46, 1968, pp. 287-288.
- 5 — ZUIDERWEG, F. J., and VAN LOOKEREN OAMPANGNE, N. : Pelletizing of soot in waste water of oil gasification plants-the shell pelletizing separator (S.P.S.). *Chem. Engr. Lond.*, No. 220, Jul.-Aug. 1968, pp. CE223-227.
- 16 — SIRIANNI, A.F., COLEMAN, R.D., GOODHUE, E.C., and PUDDINGTON, I.E. : Separation studies of iron ore bodies cotaining apatite by spherical agglomeration methods. *Can. Min. Metall. Bull.*, Vol. 61, 1968, pp. 731-735.
- 17 — MEADUS, F.W., PAILLARD, G., SIRIANNI, A.F., and PUDDINGTON, I.E. : Fractionation of coking coals by spherical agglomeration methods. *Can. Min. Metall. Bull.*, Vol. 161, 1968, pp. 736-738.
- 18 — MULAR, A.L., and PUDDINGTON, I.E.A. : Technically feasible agglomeration separation process. *Can. Min. Metall. Bull.*, Vol. 61, 1968, pp. 726-730.
- 19 — SIRIANNI, A.F., PAILLARD, G., and PUDDINGTON, I.E. : Separation of wet process phosphoric acid. *Can. J. Chem. Engng.* Vol. 47, 1969, pp. 210-211.
- 20 — FARNAND, J.R., and PUDDINGTON, I.E.: Oil-phase agglomeration of germanium-bearing vitrain coal in a shaly sandstone deposit. *Can. Min.*
- 21 — FARNAND, J.R., MEADUS, F.W., COODHUE, E.C., and PUDDINGTON, I.E. : The benaficiation of gold ore by oil phase agglomeration. *Can. Min. Metall. Bull.*, Vol. 62, No. 692, pp. 1326-1329, 1969.
- 22 — YARAR, B., and KITCHENER, J.A. : Selective flocculation of minerals. 1. Basic principle s. 2. - Experimental investigation of quartz, calcite and galena. *Trans. Instn. Min. Metall.*, Vol. 79, 1970, pp. C23-C33.
- 23 — CAPES, C.E., McILHINNEY, A.E., and COLEMAN, R.D.: Beneficiation and balling of Coal. *Trans. Soc. Min. Engrs. AIME*, Vol. 247, 1970. pp. 233-237.
- 24 — MACKENZIE, J.M.W. : Interactions between oil dops and mineral surfaces *Trans. Soc. Min. Engrs. AIME*, Vol. 247, 1970, pp. 203.
- 25 — CAPES, C.E. : Efflorescence and the drying of agglomerates. *Powder Technol.*, Vol. 4, 1970-1971, pp. 77-82.
- 26 — SPARKS, B.D., MEADUS, F.W., and PUDDINGTON, I.E. : The continuous separation of tar sands by oil phase agglomeration. *Can. Min. Metall. Bull.*, Vol. 64, No. 710, Jun. 1971, pp. 67-72.
- 27 — CAPES, C.F., McILHINNEY, A.E., SIRIANNI, A.F., and PUDDINGTON, I.E. : Agglomeration in coal preparation. 12th Conference of the Institute for Briquetting and Agglomeration, Vancouver, The Institute, 1971, pp. 53-65.

- 28 — CAPES, CE. : The correlation of agglomerate strength with size. Powder Technol., Vol. 5, 1971-1972, pp. 119-125.
- 29 — CAPES, CE., COLEMAN, R.D., and THAYER, W.L. : The production of uniformly sized spherical agglomerates in balling drums and discs. 1st International Conference on the Compaction and Consolidation of Particulate Matter, Brighton, Oct. 1972, London, Powder Advisory Centre, 1972.
- 30 — DEMIREL, H. : Ph. D. Thesis Nottingham University, 1972.
- 31 — FRIEND, J.P., and KITCHENER, J.A. : Some physicochemical aspects of the finely - divided minerals by selective flocculation. Chem. Engng. Sci., Vol. 28, 1973, pp. 1071-1080.
- 32 — MEADUS, F.W., and PUDDINGTON, I.E. : The beneficiation of barite by agglomeration. Can. Min. Metall. Bull., Vol. 66, No. 734, pp. 123-126.
- 33 — SPARKS, B.D., and WONG, R.J.H.T. : Selective spherical agglomeration of ilmenite concentrates. Can. Min. Metall. Bull., Vol. 66, No. 729, Jan. 1973, pp. 73-77.
- 34 — CAPES, CE., McILHINNEY, A.E., SIRIANNI, A.F., and PUDDINGTON, I.E.. Bacterial oxidation in upgrading pyritic coals. Can. Min. Metall. Bull., Vol. 66, No. 739, Nov. 1973, pp. 88-91.
- 35 — ZAMBRANA, G.Z., MEDINA, R.T., GUTIERREZ, G.B., and VARGAS, R.R. : Recovery of minus 10 m. cassiterite by liquid - liquid extraction. Int. J. Min. Proa, Vol. 1, 1974, pp. 335-45.
- 36 — CAPES, CE., SMITH, A.E., and PUDDINGTON, I.E. : Economic asse esment of oil agglomeration methods. Can. Min. Metal. Bull., Vol. 67, 1974, pp. 115-119.
- 37 — KAWASHIMA, Y., and CAPES, CE. : An experimental study of the kinetics of spherical agglomeration in a stirred vessel. Powder Technol., Vol. 10, 1974, pp. 85-92.
- 38 — CAPES, CE., and COLEMAN, R.D. : The size - strength relationship for pellet. Metall. Trans., Vol. 5, 1974, pp. 2604-2605.
- 39 — CAPES, C E., McILHINNEY, A. E., RUSSELL, D. S., and SIRIANNI, A. F. : Rejection of trace metals from coal during beneficiation by agglomeration. Environ. Sei. Technol., Vol. 8, 1974, pp. 35-38.
- 40 — SPARKS, B.D., and MEADUS, F.W. The separation of silica from Sturgeon Lake marl deposits. Can. Min. Metall. Bull., Vol. 67, No. 747, Jul. 1974, pp. 111-114.
- 41 — SPARKS, B.D., and SIRIANNI, A.F. : Beneficiation of a phosphoriferous iron ore by agglomeration methods. Int. J. Miner. Process., Vol. 1, 1974, pp. 231-241.
- 42 — SIRIANNI, A.F., CAPES, CE., and PUDDINGTON, I.E. : Recent experience with the spherical agglomeration. Con. J. Chem. Engng. Apr. 1974.
- 43 — PUDDINGTON, I.E., SPARKS, B.D. : Spherical agglomeration processes. Min. Sei. Engng., Vol. 7, No. 30ct, 1975.