

Flokülasyon Tekniği ve Günümüzdeki Önemi

Mehmet Yaşar ETHEM(x)

ÖZET:

Aşağıda, cevher hazırlama tesislerinde her geçen gün daha çok uygulanma alanı bulan ve artık suyunun geri kazanılmasını amaçlayan flokülasyon tekniğinden, uygulanma yerlerinden, ticari isimleri ile birlikte flokülasyon maddelerinden ve bu alanda yapılan en son araştırmalardan bazılarından söz edilecektir.

AUSZUG

In diesem Artikel wird von der Flockungstechnik, ihrer Anwendung, den Flockungsmitteln mit Handelsnamen und den einigen Forschungsergebnissen berichtet.

GİRİŞ :

Lawarlarda, veya genel anlamda cevher hazırlama tesislerinde, su ihtiyacı gitkçe bir problem olmaktadır. Bu problemi yaratan nedenleri a) nüfus artışına bağlı olarak suyun belediyelerce kısıtlı verilmesi, b) bölgenin coğrafi ve iklim durumu, c) su kaynaklarının tipi, sayısı ve verimliliği, d) mevsimler diye dört ana grupta sıralayabiliriz. Cevher hazırlama tesisleri genellikle ihtiyaç duydukları suyu, civar kaynaklardan (daha çok dere ve yeraltı su kaynaklarından) kendileri temin ederler. Ancak bu su kaynakları her zaman İstlenen suyu temin edecek durumda olamazlar. Meselâ yaz mevsiminde dere kuruyabilir veya kış mevsiminde don sebebiyle herhangi bir kaynaktan su almak mümkün olmayabilir.

(*) Maden Yüksek Mühendisi
Karadeniz Bakır İşletmeleri - Ankara

İşte hem her mevsim yeterince su temin etmek hem de mevcut pompaj tesislerini daha az çalıştırıp maliyeti düşürmek maksadiyle, cevher hazırlama tesislerinde kullanılan (artık) suyun elden geldiğince geri kazanılması, projelendirilmeden İşletmeciye kadar herkesin üzerinde hassasiyetle durması gereken bir husus olmaktadır. Bunun

içindedir ki, cevher hazırlama tesislerinde flokülasyon tekniğine her geçen gün biraz daha önem verilmekte ve bu tekniğin geliştirilmesi gayesiyle araştırmalar yapılmaktadır.

FLOKÜLASYONUN TARİFİ VE TEKNİĞİ

Flokülasyon, katı-sıvı ayrışması ile ilgili bir proses olup, münferit partiküllerin, birbirine daha çok gevşek bağlı aglomera haline sokulması ve böylece bir sıvıda süspansiyon durumundaki katı partiküllerin efektif eb'adının arttırılması demektir.

Flokülasyon'u sedimentasyon ile karıştırmamak gerekir. Flokülasyon, bir «şlam muamelesi» dir; sedimentasyon İse «su arıtma» demektir. Bir çok flokülasyon çeşitleri, arzuya göre katı partikülleri çökme veya yüzme durumuna getirirler. Flokülasyonda başarının en önemli şartı, birbirini İten (defeden) elektrik yüklerinin zararsız hale getirilmesi veya bertaraf edilmesidir. Flokülasyon derecesi, partiküller arasındaki «kollizyon» ihtimali ile, kollozasyonu müteakip adeziyon'a olan temayülleri İle kontrol edilir. Kollizyon İhtj-

mali ajitasyon yolu ile arttırılabilirken, adeziyon temayülü ise «flokülan» olarak bilinen reaktiflerin ilâvesi surteıyla arttırılabilmektedir.

Kolliziyon deyimini İngilizce «collison» dan alınmış olup çarpma, çarpışma demektir.

Reaktiflerin, münferiden veya kombinasyon halinde, flokülan olarak rol oynaması şu üç esasa dayanmaktadır:

- a) Van de Waals kohesiv kuvvetine muktedir olan ve birbirleriyle çarpışmış bulunan partiküllerin etrafını çevreleyen elektriksel itici kuvvetlerin nötralizasyonu,
- b) Büyük hacimli aglomeraları, mese-lâ metal hidrokisleri, ayırma,
- c) Partikülleri, tabiî veya sentetik yolla, uzun zincirli ve yüksek molekül-lü (ağır) polimer'ler vasıtasıyla köprü leşti r m e.

Flokülanlar birer elektrolit yani asitler, tuzlar, bazlar ve kolloidler olup, tabiî ve sentetik (sunî) diye ikiye ayrılırlar. Nişasta kolloidi tabiî flokülanlara iyi bir misaldir. Ancak günümüzde daha çok sentetik olanları kullanılmaktadır, önceleri ki-reç dahi flokülan olarak kullanılmıştır.

Flokülanların tesiri şöyle olmaktadır: İçinde buldukları sıvıya nazaran pozitif veya - ekseriya - negatif yüklü olan katı partiküller, ki bunlar sıvı içinde süspansiyon halindedirler, iyon absorpsiyonu suretiyle aynı elektrik yüküne sahip olacak şekilde deşarj olmakta veya - nişastada olduğu gibi - kolloid partiküllerinden müteşekkil kümeler vasıtasıyla çevrilip izole edilmektedirler. Bu şekilde sıvıya karşı potensiyel fark kaybolmakta ve neticede «koagüle» olmaktadırlar. Potensiyel fark süspansiyonu temin eden unsurdur.

Fazla miktarda yani gereğinden fazla flokülan kullanılması halinde partiküller yalnız deşarj olmakla kalmaz, aynı zamanda zıt elektrik yükü ile de şarj olurlar. Böylece flokülasyondan bir netice beklenemez

ve yapılan bütün masraf ile verilen emekler boşa gitmiş olur. Keza siklonlara flokülan vermenin de hiç bir faydası yoktur.

Genellikle tersip havuzları (tikener) ile filtrelerde uygulanan flokülasyondan beklenen faydalar şunlardır:

- a) Sedimentasyonu hızlandırmak,
- b) Mümkün mertebe iyi bir arıtma elde etmek,
- c) Daha çok koyulaştırmak,
- d) Kurutma makinalarının (su süzme tesislerinin) kapasitesini arttırmak veya - yeni inşa ediliyorsa - eb'adını küçültmek,
- e) Katı maddelerden mümkün mertebe artırılmış sıvı elde etmek.

Sedimentasyona yani çökme hızına tesir eden faktörleri, diğer bir deyimle çökmeyi hızlandıran faktörleri, şöyle sıralayabiliriz :

- Gereğinden fazla olmamak kaydıya imkân nisbetinde flokülan miktarını arttırmak çökmeyi hızlandırır. Meselâ kömürde flokülan spesifik sarfiyatı 0.2-5 g/msttür. Bu limitler içinde spesifik sarfiyat arttıkça çökme de hızlanmaktadır.
- pH değeri o ortam için doğru olarak ayarlanmalı ve tayin edilen seviyede kalması için dikkat etmelidir.
- Ortamın ısını 16°C'ın üstünde tutmaya gayret etmelidir. Yapılan araştırmalar neticesinde kömür için en optîmim ortam ısı, çökme hızı ve ekonomik faktörler birlikte mütalâa edilmek kaydıyla, 22°C olarak saptanmıştır.
- Mümkün mertebe molekül yapısı büyük olan yani yüksek molekül-lü flokülan kullanmak.
- Flokülanı, uniform dağılmayı, gerekli türbülansı ve hususları sağlayacak şekilde vermek ve yüksekten bir noktaya düşecek tarzda beslemeden kaçınmak.

Bütün bu tedbirlere rağmen flokülasyon, tersip havuzlarından sonraki uygulanma alant olan filtrelerde her zaman beklenen neticeyi vermemektedir.

Bu arada çok ince partiküllerin sıvı ortamda oldukça yavaş çökmelerinin sebeplerine bir göz atalım :

- Kitlenin az ve buna bağlı olarak düşme hızının çok küçük olması,
- Ağır mayi niteliğindeki sıvı ortamın konsistensinin (koyuluğunun) çok yüksek olması,
- Kendilerine süspansiyon özelliğini kazandıran «Brown Hareketinin» bu katı partiküllere tesir etmesi,
- Sıvı ortamda yüzeyleri aynı isimli elektrikle yüklü partiküllerin mevcudiyeti ve buna bağlı olarak birbirini itmeleri yani bir araya gelmemeleri.

Flotasyonda olduğu gibi flokülasyonda da belirli bir maddeyi aglomere edip çöktürmek yani «selektif flokülasyon» imkân

dahilindedir.

Eğer pompanın bulunduğu bir devreye, meselâ tüterlerde olduğu gibi, flokülasyon kullanmak isteniyorsa bunu, pompadan evvel değil de pompadan sonra vermelidir.

Flokülasyon ekipmanı olarak, normal hallerde bir reaktif dozörü yeterlidir. Şayet flokülasyonu üstten değil de yandan yani tangential vermek, veya türbülansı gereği gibi temin etmek gibi hususlar söz konusu ise, o zaman duruma göre özel ekipman kullanılabilir. Çok kere flokülasyonu tersip havuzuna (tikinere) veya filtreye veya durultma tankına giden boruya vermekle iş halledilmektedir.

PİYASADA BULUNAN FLOKULANLARDAN ÖRNEKLER

Sanayide cevher, şist, su hazırlama veya kimyasal proseslerde kullanılan flokülasyon tanlarından bazıları bir tablo halinde aşağıya çıkarılmıştır. Bunlardan Alman menşeli olan Separan, Sedipur ve Praestol memleketimizde en çok kullanılanlarıdır.

Ticarî ismi	Bileşimi	pH-Değeri	Konsantrasyonu
Alum	$Al_2(SO_4)_3 \cdot xH_2O$	5 — 10	15 ppm
Corn Starch	Nişasta	2 — 10	10 lb/ton
Ferric Sulfate	$Feg(SO_4) \cdot xH_2O$	değişken	5 — 100 ppm
Guar gum	Guar sakızı	2 — 12	0.02-0.3 lb/ton
Fibrefloc	Hayvansal tutkal	1 — 9	5 — 30 ppm
Kelgin W	«Algins»	4 — 11	max. 5 ppm
Kopolymer	% 66 Na-Polyacrylat	2 — 10	1 — 50 ppm
Polynox	% 34 Metacrylat	.	0.2 — 5 g/m'
Praestol	Polyethylene oxid	.	0.2 — 5 g/m ^B
Sedipur	iogen olmayan Polyacrylamid	.	0.2 — 5 g/m ^a
Separan	?	4 — 6	1 — 20 ppm
Sodium Aluminate	Acrylamid polymer	3 — 12	2 — 10 ppm
Sodium CMC	Aktifleştirilmiş silika sol	3 — 9	0.03-0.5 ppm
Sülfürik asit	Sodium carboxymethyl-cellulose	1 — 5	çok değişken

SELEKTİF FLOKÜLASYON

Selektif flokülasyon yıllarca önce cevher flotasyonu için teklif edilmiş ve de-

nenmiştir. Fakat kömürdeki selektif flokülasyon ilk defa F. Drexler tarafından müşahede edilmiş ve dünyaya tanıtılmıştır

(1955?). F. Drexler, bazı flokülânların kömür taneleri üzerine, ayrı büyüklükteki şist tanelerine nazaran daha çabuk tesir ettiğini ve böylece kömür tanelerinin daha hızlı çöktüğünü müşahade ve bunun sebebinin de, kömür tanelerinin yüzeylerinin ortamda hidrofob yani suyu defeden bir hal almalarına, kilin ise bunun tersi

yani hidrofil durumda olmalarına bağlamıştır.

Selektif flokülasyon ile ilgili olarak 1965'ten 1967 yılına kadar Prag İlimler Akademisi'ne bağlı Madencilik Enstitüsünde çeşitli deneyler yapılmıştır. Bu deneylerin neticeleri tablolar halinde aşağıya çıkarılmıştır.

Tablo I
Selektif flokülasyonda zamanın etkisi

Sedimentasyon süresi. dak.	Kül nisbeti - % Kömür	Şist	Kurtarma nisbeti Kömür	(Ağırlık % si) Şist
1	18.61	46.55	55.64	44.36
2	16.33	73.36	74.65	25.35
4	16.25	75.14	74.68	25.32
6	16.15	76.67	74.83	25.17
10	15.46	76.23	75.53	24.47
16	15.85	76.88	75.86	24.14
20	16.81	78.47	77.27	22.73
60	17.11	78.35	77.27	22.73

Tablo II
Reaktif ilâvesinin taş kömürü şlamı flokülasyonu üzerine etkisi

Flokülân	Kopolymer, 4 mg/1	0.2	0.4	0.6	1	2	3
Su camı, mg/1		0.2	0.4	0.6	1	2	3
Kül nisbeti - %	Şistte	77.89	78.73	78.03	77.60	77.89	77.46
	Kömürde	26.21	20.06	14.62	12.16	11.32	10.94
Kurtarma - Ağ. %	Şistte	7.58	16.39	27.34	28.45	28.93	25.64
	Kömürde	92.42	82.61	72.66	71.55	71.07	74.36

Bu ye benzeri deneylerde pH değerinin optimum 9 ilâ 10 arasında olması gerektiği de anlaşılmış bulunmaktadır.

Su miktarının fazla olması halinde kullanılan su çamı hidrolize olmakta ve böylece SiO₂'nin bir kolloid çözeltisi teşekkül etmektedir. Hidrofil olan yani suyu çekme özelliğinde olan bu kolloid, süspansiyon halindeki şist taneciklerinin yüzeyleri tarafından absorbe olmakta ve neticede şist taneciklerinin hidrofil özelliği artmış bulunmaktadır. Böylece elektrolitin bu şist taneciklerini koagüle etmesi önlenmektedir. Buna karşılık su camı kö-

mür tanecikleri tarafından absorbe edilmemekte ve bunlar hidrofob yani suyu defeden durumunda kalmaktadırlar. Şist ve kömür taneciklerinin, su camı vasıtasıyla yaratılan bu farklı özellikleri neticesinde selektif flokülasyona imkân sağlanmış bulunmaktadır.

SENTETİK MAKROMOLEKÜLER FLOKÜLANLAR İLE İLGİLİ BİR KAC ARAŞTIRMANIN NETİCESİ

Federal Almanya'da, sentetik makromoleküler flokülânların taş kömürü lavvartarında uygulanmasında daha iyi netice almak

maksadiyle bazı araştırmalar yapılmıştır. Polymer veya Polyelektrolit de denen bu organik sentetik flokulanlar üzerindeki araştırmaların neticesi özet halinde aşağı-da sıralanmaktadır.

- 1 Flokulanın tesir derecesi, artılmak istenen süspansiyonun veya kurutulması gereken şlamın özelliğine çok bağlıdır. Katı partikülerin anorganik veya organik olmasına, süspansiyon içindeki nisbetine, özgül ağırlığına, tane iriliğine ve şekline, yüzeylerinin özelliğine, sıvı ortamda erime nisbetine ve nihayet hacminin artmasına yol ačan şişme yani kabarma emsaline göre flokulan az veya çok tesirli olmaktadır.
- 2 Sıvı fazın da flokulanın tesir derecesine etkisi vardır. Bunların başında cins ve miktar yönünden elektrolitin muhteviyatı gelir. Ayrıca pH değeri, elektrik iletgenliği ve sertlik derecesi de önemlidir. Bunlardan ayrı olarak viskoziteyi, kesafeti ve yüzey gerilimini etkileyen ortam ısısını da zikretmek lâzımdır. Nihayet çözültü halindeki organik maddelerin de polymerler üzerinde - genellikle negatif yönde - etki

yaptıkları tesbit edilmiş bulunmaktadıdır. Elektrolitin tesiri: Üretilen her cevherde hemen hemen daima suda çözünebilir komponentler mevcuttur. Bunlar yıkama esnasında sıvı faza geğer ve yıkama suyunun iyon kuvvetini yükseltirler. Taşkömürü lawarlarında yapılan bir çok ölçme neticesinde işletme (yıkama) suyu olarak kullanılan artılmış suyun elektrik iletgenliğinin takriben $2 - 5 \times 10^{-3}$ S (Siemens)'den, tüvenan kömürdeki çözülebilir komponentler! alması dolayısıyla, $2- 5 \times 10^{-3}$ Siemens'e çıktığı tesbit edilmiştir.

Çözünmüş yemeklik tuzun tesiri: Araştırmacılar, üretilen tüvenan kömürdeki komponentlerden, yıkama esnasında suya geğer çözünebilir olanlarının başında ve %90 nisbetinde NaCl'ün geldiğini tesbit etmişlerdir. Ancak bunun anyon aktif (anyonik) veya iogen olmayan flokulanların üzerinde zararlı bir etkisi olmamaktadır. Bununla beraber tuz asidi (HCl) ile yapılan pH değeri ayarlamalarında. Alüminyum Sülfat ile yapılan ayarlamalara nisbetle, çökme hızı fazla fakat artılma derecesi az olmaktadır. Bunu rakkamla ifade edersek:

	pH değeri ayarlaması	
	HCl ile	Al ₂ (SO ₄) ₃ ile
Anyon aktif yani anyonik		
Polymer (flokulan) sarfiyatı, g/rrf	0.5-1.0-2.0	0.5-1.0-2.0
Ortalama (çökme hızı, cm/dak.	25- 48 -100	13-18-28
Artma derecesi (Ektinksiyonx100)	3.5-23-2.5	15-13,3-9,5

Suyun sertlik derecesinin tesiri: Chemiefabrik Stockhausen + Cie., Krefeld firmasının imalatı olan Praestol 2935 polymeri üzerinde yapılan araştırmalarda, ortalama çökme hızının, polymer sarfiyatına bağlı olarak arttığı ve bu artmanın muhtelif sertlik derecelerinde de sertlik derecesi arttıka devam ettiği tesbit edilmiştir. Me-

selâ 2 g/m³ polymer sarfiyatında 0-3-6-ve 9 °dH (Alman sertlik derecesi)'ne göre ortalama çökme hızları sırasıyla takriben 12 - 22 - 29 ye 40 cm/dak. olmaktadır. Aynı şekilde suyun berraklığı yani artılma derecesi de hem polymer sarfiyatına hem de sertlik derecesine bağlı olarak artmaktadır.

3. Yapılacak işe ve kullanılan tertibata göre sentetik flokülünün seçimi.

Ön görülen hedef	Ayırma Tertibatı	İşletme örneği	Optimum Flokülün Strüktürü	Sentetik Flokülünün cinsi	miktarı g/m ³
Yüksek çökme hızı	Arıtıcı, Tersip havuzu	a) Yıkama suyu arıtma b) Flotasyon şisti arıtma c) Noryalı baggerlerin havuzunda flotasyon şisti arıtma	büyük ve ağır büyük ve ağır büyük ve ağır stabil	a ve b) yüksek-orta molekülü, anyonaktif c) İyonogen olmayan (Polyethylen glykol bazlı)	0.2-1 0.5-3
Sıvı bazın tam anlamıyla arıtılması	Arıtıcı	Yıkama suyu arıtma Nihal arıtma	absorpsiyon özelliği olan çok sayıda küçük flokülünler	orta-düşük molekülü, anyonaktif	0.2-1
Dönen tip filtrelerin kapasitesini artırma	Vakumfiltre, Trommelfiltre, Disk filtre	Tüvenan şlam, Flotasyon konsantresi	küçük, eşit dansiteli flokülünler	orta-düşük molekülü, anyonaktif	3-5
Santrifüj kurutucularda katı maddelerden arıtılmış sıvı faz elde etme	Vollmantschnecken tipi santrifüjler	Tersip edilmiş flotasyon şisti şlamı	oldukça stabil, makaslanmaya mukavim flokülünler	yüksek molekülü, anyonaktif, iyonogen olmayan	30-75

EREĞLİ KÖMÜR İŞLETMELERİNDEKİ FLOKÜLASYON UYGULAMASI

Bilindiği gibi EKİ'nde, biri Kozlu ve Üzülmüş Bölgelerinden gelen kömürü yıka- mak üzere Zonguldak'ta; diğeri de Kilimli, Karadon ve Gelik Bölümlerinden müteşek- kil Karadon Bölgesi'nin kömürünü yıka-

mak üzere Çatalağzında olmak üzere iki adet merkezî lavarı vardır. Bunlardan, ayrı olarak Armutçuk Bölgesinin de eskiden kurulmuş olan bir özel lavarı mevcuttur.

Zonguldak lavarındaki flokülasyon uygulaması ile ilgili doneler özetle şöyledir:

— Kuruluş kapasitesi (Tevsiden sonraki kapasite: 1.000 t/h)	3x250 = 750 t/h
— Lawara giren toplam su	550 m3/h
— Tüvenan kömürün ortalama rutubeti	6 %
— Tüvenan kömürün % 30 nispetindeki şistin, % 60 nisbetindeki lâve kömürün ve % 10 nisbetindeki artığın (teytingin) rutubet nisbetleri	% 12 - % 9.65 - %94
— Yukardaki nisbetlere ve 750 t/h kapasiteye göre ihtiyaç duyulan su	1.200 m3/h
— Mevcut tikinerler (tersip havuzları)	3 adet beheri 60 ft. 0
— Sedipur spesifik sarfiyatı	2 gr/m3
— Lawarm çalışma süresi, fiilî	15 h/gün
— Yıllık flokülân sarfiyatı, takribi (2 x 500 x 15 / 360 / 1.000 = 5.400)	5.400 kg.
— 1.000 t/h'lik tevsiden sonraki kapasiteye göre ve, tikiner üstü suda % 0.27, tikiner altı şlamalı suda da % 30.6 ve tikinere giren şlamalı suda da % 6 nisbetinde katı madde olacağı kabulünden hareketle prevü edilen miktarlar:	720 m3/h 168 » 888 » 9.600 kg/yıl 2.320 m3/h
+ Tikiner altı şlamalı su miktarı	
+ Tikiner altı şlamalı su miktarı	
+ Tikinere giren şlamalı su miktarı	
+ Sedipur sarfiyatı prevüsü (2x888x15x360/1.000=9.590)	
+ Lawarm toplam su ihtiyacı	

K.B.Î. ÇAKMAKKAYA
KONSANTRATÖRÜNDEKİ
FLOKÜLASYON UYGULAMASI

Murgul (Artvin) bölgesindeki Çakmakkaya konsantratörü. Damar ve Çakmakkaya bakır madenlerinden üretilen toplam 9.000 ton/gün cevheri işlemek üzere kurulmuştur. Fizibiliteye göre bakır konsantre tikineri, pirit konsantre tikineri ve teyling tikinerinde % 0.05 lik solüsyon halinde 0.6 lt/saniye veya 10 Galon/dakika mertebesinde flokülân kullanılması gerekmektedir.

Tikiner üstü su, GPM
Tikiner altı, STPH- % Solid -

Yılda 210.000 ton Cu-konsantresi (% 17'lik) ve 229.000 ton pirit konsantresi (% 45 S'lik) üretmek için lüzumlu su miktarı 38437MTPD (7055 GPM, 444.88 LPS), geri

1973 yılı sonunda numune olarak getirilen Dow Chemical firmasının Avrupa (Alman) menşeli Seperan MG-200 flokülânı Çakmakkaya ve Samsun konsantratörlerinde denenip iyi netice alınması üzerine 1974 yılında Çakmakkaya konsantratörü için 1.000 kg Seperan MG-200 ithal edilmiştir. Ancak bu rakam gerçek ihtiyacı karşılayacak durumda olmadığından fiili spesifik sarfiyatları tesbit etmek mümkün değildir. Flokülasyonun tam uygulanması halinde fizibiliteye göre şu tablonun teşkil edilmesi beklenmektedir:

Cu Tikiner!	Pirit Tikineri	Teylingtikfn
204	255	2839
29-50-142	32-50-154	352-50-1934

kazanılacak su miktarı 29429 MTPD (5401 GPM, 340.62 LPS) ve kayıp su miktarı da 9008 MTPD (1654 GPM, 104.26 LPS) olarak planlanmıştır.

LİTERATÜR

Ethem, Mehmet Yaşar. TH Aachen Maden Fakültesi Cevher Hazırlama Kürsüsü Ders Notları, 1961-1962 (Yayınlanmamış)

Chemical Engineering, Haziran 20, 1966 sayıs: Solid - Liquid Separation

Glückauf 106 (1970) Nr. 19 : Die Verwendung synthetischer, makromolekularer Flockungsmittel bei der Stein-

kohlenaufbereitung

Aufbereitung - Technick, Nr. 4/1966
Zonguldak ve Çataiağzı Lawarlan Tevsii Su Etüdü, EKİ Etüd - Tesis Müdürlüğü çalışması, 1971 (Yayınlanmamış)

Glückauf - Forschungshefte, Jahrgang 30, Heft 5, Oktober 1969: Verwendung von Hochpolymeren bei der Aufbereitung feinstkörniger Mineralteilchen