

# *Polimerlerin Cevher Hazırlamadaki Yeri ve Kullanım Özellikleri*

**The Properties of Using Polymers in the Mineral Processing Industry**

Gündüz ATEŞOK (\*)

## ÖZET

Polimerler son 5 yıl içinde cevher hazırlamada dağılmış ince boyutlu malzemelerin salkımlaşmasında, seçimli salkımlaşmasında ve seçimli flotasyonunda geniş bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca öğütme üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla çeşitli bilimsel araştırmalar halen sürmektedir. Polimerlerin mineraller üzerindeki etkisi ortam pH'sına, iyonik güce ve pülpe ilave yöntemine bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca, pülpe içinde bulunan minerallerden suya geçen iyonların da etkisi büyüktür. Bu çalışmada, polimerlerin kısa bir tanıtımı yapılarak, kullanımlarıyla ilgili özellikleri verilmiş ve polimer molekül ağırlığının, ortam pH'sının ve polimer iyonlaşma değerinin salkımlaşma üzerindeki etkileri tartışılmıştır.

## ABSTRACT

In the last 5 years polymers are being used in mineral processing for flocculation of fines, selective flocculation-flotation for beneficiation of finely dispersed ores and thickening. There is also developmental work for their use as grinding aids. While in majority of cases bulk flocculation is sufficient, polymers which interact selectively with desired minerals are required in flocculation. Interaction of polymers with minerals is a complex function of system variables such as pH, ionic strength and mode of addition. In addition in heterogeneous mineral systems it is also influenced by the presence of dissolved mineral species. In this paper, the properties of using of polymers in the mineral processing industry are given, and the effect of polymer molecular weight, pH in solution and ionic charge on flocculation are discussed.

(\*) Y.Doç.Dr., İTÜ Maden Fakültesi, Maden Müh.Böl. Cevher Hazırlama Anabilim Dalı, Teşvikiye-İSTANBUL

## 1. GİRİŞ

Polimerler, cevher hazırlamada ince boyutlu cevherlerin salkımlaşmasında, susuzlaştırılmasında, seçimli salkımlaşmasında ve flotasyonunda son senelerde büyük önem kazanmış olup, hızlı bir şekilde bu zenginleştirme yöntemlerinde kullanılmaya başlanmıştır. Çeşitli araştırmacılar tarafından ayrıca polimerlerin öğütme üzerinde olan etkisi araştırılmakta olup, bu konuda halen ABD'nde pek çok araştırma yapılmaktadır. Polimerlerin mineraller üzerindeki etkisinin belirlenebilmesi için, polimerlerin mineral yüzeylerine adsorpsiyonunun çok iyi bilinmesi gerekmektedir, özellikle ortam pH'sı, iyonik kuvvet, pülp ısı, mineral yüzeylerinin zeta potansiyel özellikleri, minerallerin sudaki çözünürlüğü adsorpsiyon üzerinde önemli etkenlerdir. İnce malzemenin zenginleştirme yönteminde kullanılan polimerlerin, molekül ağırlığı, yapısı ve etkin olan grubunun yükü adsorpsiyonda etkindir. Bu parametrelerin yanında polimerlerin ilave şekli, karıştırma sistemi ve polimer solüsyonlarının hazırlanması önemli etkenler olarak kabul edilmektedir. Bunların yanında pülp içinde bulunan ve mineral yüzeylerinden pülpe geçen iyonların da polimerlerin mineral yüzeylerine adsorpsiyonuna etkisini unutmamak gerekir. Bu etki özellikle suda kolay çözünebilir minerallerin salkımlaşmasında ve flotasyonunda önemli bir rol oynamaktadır.

Bugün için İngiltere, Fransa ve ABD'nde yapılan bilimsel araştırma çalışmalarının % 42'si polimerler üzerinde olup, madencilik sektörünün payı % 18 civarındadır.

## 2. POLİMERLERİN KULLANIM İHTİYACI

Madencilik üretim tekniğindeki mekanizasyon ve öğütme prosesi nedeniyle gittikçe artan ince malzeme cevher hazırlamada önemli bir problem oluşturmaya başlamıştır. Söz konusu bu ince malzemenin değerlendirilmesi ve kullanılabilir hale getirilebilmesi bilinen cevher hazırlama yöntemleri ile imkansız bir hale gelmiştir. Yeni zenginleştirme yöntemlerinin bulunması ve bu incelerin (özellikle 20 mikron altı malzemesinin) bu yöntemlerle değerlendirilmesi zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Bu yöntemlerin ihtiyacı özellikle fosfat, bakır, kalay, volfram, kömür, demir ve seramik hammadde şamlarında duyulmaktadır. Ayrıca, çeşitli flotasyon tesislerinde elde edilen flotasyon artıklarının susuzlaştırılması da önemli bir konu teşkil etmektedir.

tedir. Klasik yöntemlerle susuzlaştırılmayan bu inceler, çevre için önemli bir problemdir.

Salkımlaşma yöntemi son yıllar içinde ince taneli malzemeler için önemli zenginleştirme ve susuzlaştırma yöntemlerinden birisi olarak ortaya çıkmıştır. Polimerler ise salkımlaşma yönteminde geniş bir şekilde kullanım alanı bulmuştur. Polimerlerin salkımlaşma ve dağılım yöntemlerindeki başarısı onun doğrudan doğruya mineral yüzeylerine olan adsorpsiyonu ile ilgilidir. Polimer, mineral ve solüsyon özelliklerinin çok iyi saptanması gerekir. Polimer adsorpsiyonu direkt olarak polimer tipi, polimer miktarı, polimer konsantrasyonu gibi polimer özelliklerine; ısı, pH, iyonik kuvvet gibi solüsyon özelliklerine; süspansiyon ile polimerin karışım hızına, yöntemine ve mineralin yüzey özelliklerine bağlıdır.

## 3. POLİMERLERİN TANITIMI

Cevher hazırlama endüstrisinde kullanılan polimerler, poliakrilamidler olup, salkımlaştırıcı olarak işlev görürler. Şekil Tde anyonik, iyonik olmayan ve katyonik poliakrilamidlerin açık kimyasal formülleri verilmiştir (Hunter ve Pearse, 1982). İyonsuz bir poliakrilamid bazik bir ortamda (NaOH ile) hidrolize uğrayarak % 100 anyonik karakteri olan bir poliakrilamid olabilir. Hidroliz şartlarına bağlı olarak, çeşitli derecelerde anyonik özellik gösterir. Molekül ağırlığına göre üç ana gruba ayrılan poliakrilamidler (Yüksek molekül ağırlıklı:  $14-20 \times 10^6$ , orta molekül ağırlıklı:  $10 \times 10^6$  civarı ve düşük molekül ağırlıklı:  $1 \times 10^6$  dan küçük) aşağıdaki şekilde cevher hazırlama endüstrisinde geniş bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır.

1. Anyonik ve iyonik olmayan poliakrilamidler, katyonik yapıda olanlara nazaran daha yaygın bir şekilde mineral hazırlamada kullanılır.

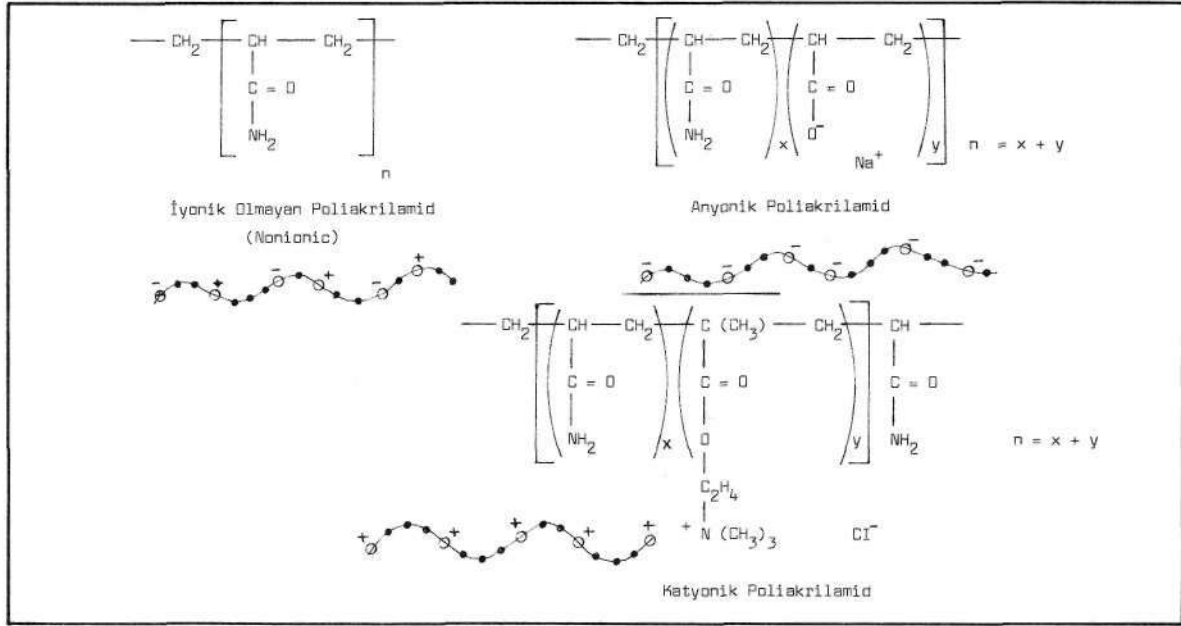
2. Yüksek molekül ağırlığına sahip anyonik polimerlerin genellikle alkali ortamlarda kullanılması uygundur.

3. İyonik yapıda olmayan polimerler geniş bir şekilde asidik ortamlarda kullanılırlar.

4. Orta molekül ağırlıklı polimerler filtrasyon amacı için en uygun olanlardır.

5. Yüksek molekül ağırlıklı polimerler, genellikle çöktürme (sedimentasyon) yönteminde tercih edilen polimer cinsidir.

Polimerlerin mineral endüstrisinde kullanılmalarıyla ilgili geniş bilgi Çizelge 1'de verilmiştir.

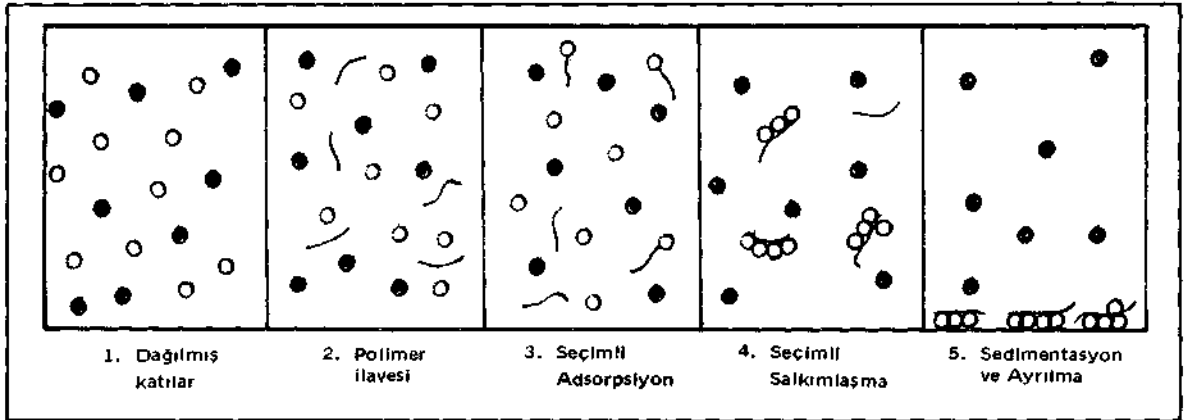


Çizelge 1. Mineral Endüstrisinde Polimerlerin Kullanım ile İlgili Örnekler (Hunter ve Pearse, 1982).

Uygulamalar	İyonik olmayan	Düşük Anyonik	Orta Anyonik	Orta-Yüksek Anyonik	Yüksek Anyonik	Katyonik	Orta Katyonik	Yüksek Katyonik
U/Cu/Co/Ni asit Liçi D.Ç.	Y	Y				Y	Y	
U Asit Liçi F.	O	O				O	O	
U Alkali Liçi DC					Y			
U Alkali Liçi F					O			
Metal Artıkları Çöktürme	Y	Y	Y	Y				
Kömür Artığı Çöktürme			Y	Y				
Temiz Kömür Filtrasyonu				O				
Demir Cevheri Artığı, ÇK.			Y					
Demir Cevheri Kons. F.								D
Bayer Yönteminde ÇK.					Y			
Ni/Co Alkali Liçi, ÇK.	Y	Y	Y	Y	Y			
Barit/Fluorit Artıkları		Y	Y	Y				
Kolloidli Malzemenin ÇK.		Y	Y	Y		Y	Y	D
Yüksek pH Ortamı, ÇK.					Y			
Fosfat Şlamı, ÇK.		Y	Y	Y				
Kum Çöktürme		Y	Y					

DC — Dekantasyon  
 F — Filtrasyon  
 ÇK — Çöktürme

Y — Yüksek Molekül Ağırlıklı  
 O — Orta Molekül Ağırlıklı  
 D — Düşük Molekül Ağırlıklı



Şekil 2. Seçimli salkımlaşma yöntemi akım şeması.

#### 4. POLİMERLERİN KULLANIMI

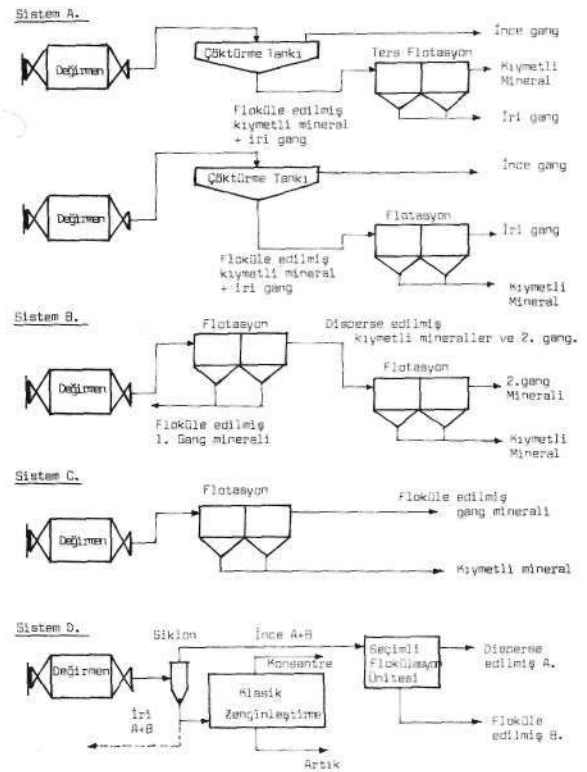
Salkımlaşma, seçimli salkımlaşma, flotasyon, filtrasyon ve çöktürme gibi çeşitli yöntemlerde kullanılan polimerler, özellikle son 5 yıl içinde seçimli salkımlaşma yönteminde başarılı olmaya başlamıştır. Konu ile ilgili yapılan çalışmalarda seçimli salkımlaşmada oluşturulacak salkımların yeterince büyük ve sağlamlıkta olması için yüksek molekül ağırlıklı polimerlerin kullanılmasının zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Seçimli salkımlaşmanın prensibi basit olarak Şekil 2'de verilmiştir (Read ve Hollick, 1976).

Yöntemin başarısı öncelikle, pülp içinde bulunan katı tanelerin çok iyi bir şekilde dağılımına bağlıdır. Polimerlerin solüsyona ilavesinden sonra, ilgili mineral yüzeyinde meydana gelecek kimyasal ya da fiziksel adsorpsiyon neticesinde oluşacak salkımlar süspansiyondan ayrılarak dibe çökeceklerdir. Bu tür sistemlerde ilave edilecek polimer miktarı ton başına ortalama 0,007 kg civarındadır.

İnce malzemenin seçimli salkımlaşması ile değerlendirilmesi ile ilgili bazı sistemler geliştirilmiştir. Bu sistemlerin en belirgin olanları Şekil 3'de verilmiştir.

##### Sistem A

Flotasyon öncesi pülp içerisindeki kıymetli mineral seçimli olarak salkımlaştırılmakta ve iri artık minerallerle beraber flotasyon devresine verilmektedir. Flotasyonda duruma göre, ters flotasyon yapılarak ya iri gang mineral ya da salkımlaştırılmış kıymetli mineral yüzdürülmektedir. ABD'de Cleveland Cliffs Iron. Co's Tilden zenginleştirme tesisinde bu sistemle hematit zenginleştirilmektedir ( , 1974). %85'i 25 mikron altına öğütülen demir cevherinin



Şekil 3. Şımların değerlendirilmesinde seçimli salkımlaşma yönteminin uygulanış şekilleri (Read ve Hollick, 1976).

karıştırma tanklarında nişasta ile seçimli salkımlaşma yapılmaktadır. Ancak minerali olan ince boyutlu silis'in ise dağılımı sodyum silikat ile sağlanmaktadır. Silis'in üçte biri seçimli salkımlaşma işlemi sırasında tankların üstünden üst akımdan atılmaktadır. Flotasyonda ise, iri silis salkımlaşmış hematit' den yüzdürülerek ayrılmaktadır. Söz konusu olan bu tesiste 1982'den itibaren hematit'in seçimli salkımlaşması için sentetik polimerlerin kullanılmasına başlanmıştır.

## Sistem B

Genellikle iki ayrı çeşit gang minerali olan cevherlere uygulanan bu sistemde, birinci kademede gang mineralinden bir tanesi flotasyon işlemi sırasında salkımlaştırılarak köpükle birlikte alınmaktadır. Birinci flotasyon devresinde bastırılan kıymetli mineral ve gang minerali, ikinci flotasyon devresinde birbirlerinden ayrılmaktadır. Bu sistem killi cevherler için özellikle tercih edilmekte olup, birinci kademe flotasyon devresinde kil mineralleri polimerler ile salkımlaştırılarak seçimli olarak devre dışı bırakılabilmektedir (Brogoitti ve Howald, 1974).

## Sistem C

Bu sistemde flotasyon devresinde gang minerali seçimli salkımlaştırılarak, kıymetli minerale ayrılmakta ve flotasyon artığı olarak alınmaktadır. Bu sistem ile ilgili çalışmalar kromit cevherleri üzerinde sürdürülmektedir. Poliakrilamidlerle yapılan seçimli salkımlaştırma deneylerinde, kromit artık mineralleri (serpantin ve olivin) bazik ortamda salkımlaştırılmakta ve daha sonra kromit oleat'la yüzdürülmektedir. Çalışmalar henüz laboratuvar aşamasında devam etmektedir (Sher ve ark. 1968).

## Sistem D

İri ve ince malzemesi birinci kademede siklon yardımıyla ayrılan bu sistemde, ince materyaller

seçimli salkımlaştırma ünitesinde dağıtıldıktan sonra çöktürülmesi istenen mineral polimerlerle salkımlaştırma işlemine tabi tutularak salkımlar halinde pülpde çöktürülür.

Şimdiye kadar çeşitli mineral karışımları üzerinde yapılan ve seçimli salkımlaştırma amacı ile güdülen araştırmalardan ortaya çıkan sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir.

## 5. SALKIMLAŞMA Yi ETKİLEYEN ÖNEMLİ PARAMETRELER

### 5.1. Polimer Molekül Ağırlığının Etkisi

Salkımlaştırma yönteminde kullanılan polimerlerin molekül ağırlığının salkımlaştırmaya etkisi oldukça önemlidir (Hunter ve Pearse, 1982). Şekil 4'de bu etki açıkça görülmektedir, özellikle ortalama 0.01 kg/ton polimer ilavesinden sonra yüksek molekül ağırlıklı poliakrilamidlerin pülp içindeki katıların üzerindeki etkisi büyük olup, çökme hızları oldukça yüksek değerlere ulaşmaktadır. Çeşitli araştırmacılar tarafından, yüksek molekül ağırlıklı polimer içeren pülpelerde, meydana gelen salkımların çaplarının daha büyük olduğu saptanmıştır. Ayrıca Şekil 4'de, polimer miktarı arttığında, gerek yüksek ve gerekse düşük molekül ağırlıklı polimerler için, salkımlaştırma işleminde meydana gelen salkım-

Çizelge 2. Çeşitli Mineral Karışımlarına Uygulanmış Olan Seçimli Salkımlaştırma Ayırma Yönteminin Sonuçları

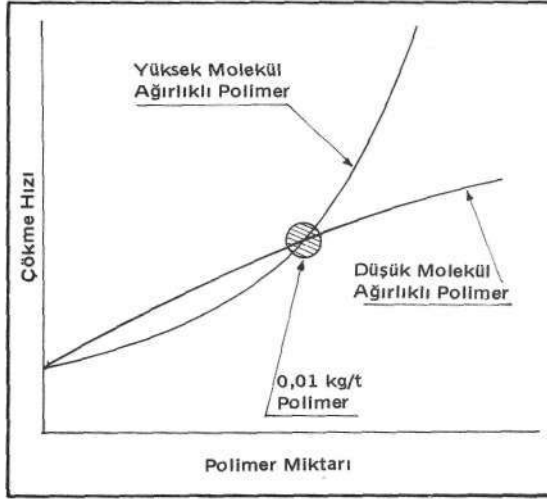
Mineral	Karışımı	Kullanılan Polimerler	Kaynak(*)
Floküle Edilen Mineral	Disperse Edilen Mineral		
Pirit	Kuars	İyonik Olmayan Poliakrilamid	(Usani, 1986)
Sfalerit	Kuars		
Smitsonit	Kuars		
Manganet Oksitler	Kuars ve Kalsit		(Gogitidze)
Kömür	Şeyi		(Blagov, 1970)
Galen	Kuars	Anyonik Poliakrilamid	(Yarar ve Kitchener, 1970)
Galen	Kalsit	Zayıf Anyonik Poliakrilamid	
Kalsit	Kuars	Anyonik Poliakrilamid	
Kalsit	Rutil	Kuvvetli Anyonik Poliakrilamid	(Friend ve Kitchener, 1973)
Boksit	Kuars	ff fi ff	M

**Çizelge 3. Polimer Molekül Ağırlığının Çökme Hızı Üzerindeki Etkisi (Hunter ve Pearse, 1982).**

Polimer Molekül Ağırlığı	Polimer Miktarı kg/ton	Çökme hızı m/h
$27 \times 10^6$	0,02	4,5
$17 \times 10^6$	0,02	3,5
$15 \times 10^6$	0,02	3,1
$11 \times 10^6$	0,02	2,8
$9 \times 10^6$	0,02	2,5

Numune: Kaolen

ların çökme hızının arttığı görülmektedir. Molekül ağırlığına bağlı olarak, deneysel olarak elde edilmiş bazı çökme hız değerleri Çizelge 3'de verilmiştir.



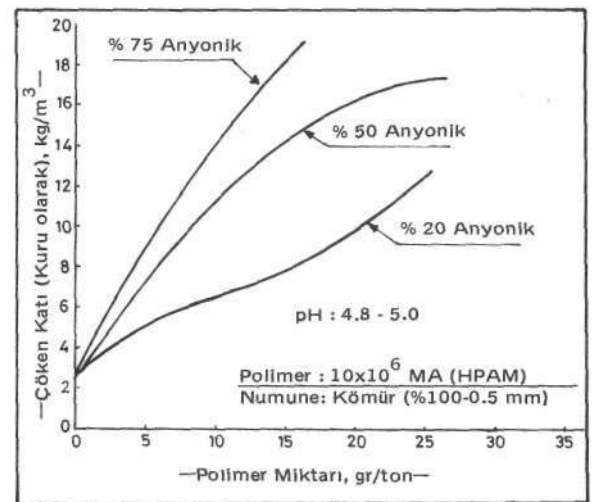
**Şekil 4.** Polimer molekül ağırlığının salkımlaşmada çökme hızı üzerindeki etkisi (Hunter ve Pearse, 1982).

Büyük çaptaki salkımların genellikle dayanıksız ve kırılabilir olması nedeniyle, cevher hazırlamada vakum filtrasyon işlemi dayanıklı ve sağlam yapıda olan küçük boyuttaki salkımlar tercih edilmektedir. Bu nedenle, filtrasyon işlemi genellikle orta molekül ağırlıklı polimerler ( $8-10 \times 10^6$ ) kullanılır (Hunter ve Pearse, 1982).

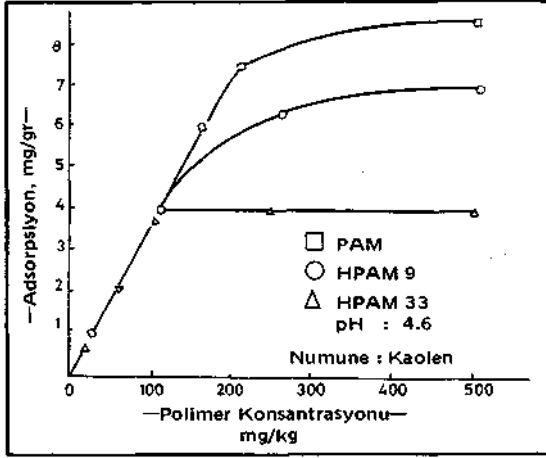
### 5.2. Polimer Anyonik Değerinin Etkisi:

Polimer anyonik değerinin salkımlaşma yönteminde oldukça önemli etkileri mevcuttur. Şekil 5 ve 6'da bu parametre ile ilgili elde edilmiş olan bazı deneylerin sonuçları verilmiştir. Şekil 5'de, tamamı 0,5 mm'nin altında olan bir kömür numunesi ile yapılan çöktürme deneylerinin sonuçları gösterilmiştir (Hunter ve Pearse, 1982). Poliakrilami-

din anyonik değeri arttıkça çöken katı miktarı da hızlı bir şekilde artmaktadır. Kaolen üzerinde poliakrilamidlerle yapılan adsorpsiyon deneylerinde ise (Şekil 6), iyonik yüzdeye bağlı olarak kaolen üzerinde, polimerin adsorbe olması önemli bir şekilde değişim göstermektedir (Ateşok). Polimerin anyonik değeri arttıkça kaolen üzerindeki adsorpsiyonu azalmakta ve buna bağlı olarak da salkımlaşmayı olumsuz yönde etkilemektedir. Kaolen üzerinde maksimum adsorpsiyon ve salkımlaşma iyonik olmayan poliakrilamidlerle elde edilmiştir (Ateşok ve Somasundaran, 1985). Maksimum adsorpsiyonun iyonik olmayan poliakrilamidlerle elde edilmesinin esas nedeni, kaolen yüzeyi ile polimer arasında oluşan hidrojen bağ sistemidir. Polimer kaolen yüzeyine hidrojen bağları ile kimyasal olarak bağlanmaktadır. Ancak, polimerlerin hidrolizi sonucunda oluşan anyonik yapısı dolayısıyla elektrostatik kuvvet etkili olmakta ve kaolen yüzeyinde mevcut negatif yapı poliakrilamidi iterek adsorpsiyonu, dolayısıyla salkımlaşmayı önlemektedir.



**Şekil 5.** Polimer anyonik değerinin salkımlaşmaya etkisi (Ateşok ve Somasundaran, 1985).



Şekil 6. Polimer anyonik değerinin adsorpsiyon üzerindeki etkisi (Ateşok ve arkadaşları, 1986).

### 5.3. Ortam pH Değerinin Etkisi

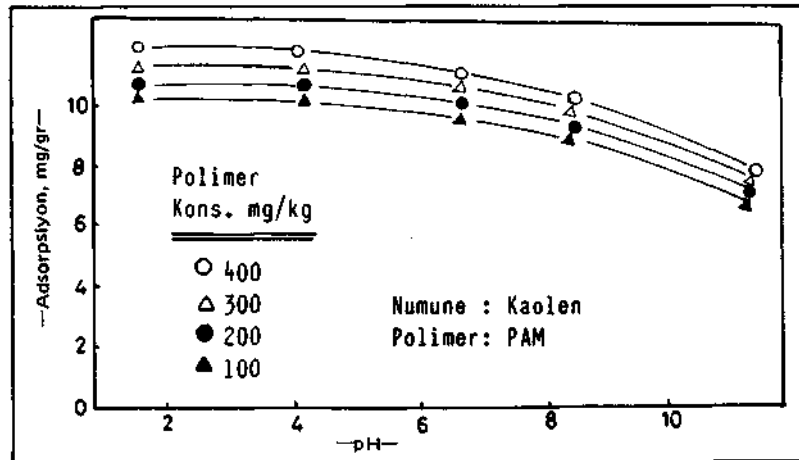
Solüsyon pH değerinin salkımlaşma işleminde çok önemli bir yeri vardır. Ortam pH'sına bağlı olarak, pülp içerisinde meydana gelen salkımların özellikleri de değişmektedir (Hunter ve Pearse, 1982; Ateşok ve Somasundaran, 1985). Düşük pH değerinde (asidik ortam) oluşan salkımlar genellikle küçük boyutlu ve sağlam bir yapıda olmalarına karşın, yüksek pH değerlerinde (bazık ortam) büyük boyutlu ve gevşek-kırılgan bir yapı özelliği gösterirler. Salkımların ortam pH'sına bağlı olarak göstermiş olduğu bu yapısal özellikleri, flotasyon ve filtrasyon işlemlerinde büyük önem taşır.

Salkımlaşma yönteminde çok önemli bir parametre olan ve salkımların oluşmasında direkt etkili

olan adsorpsiyon faktörü, ortam pH'sına bağlı olarak önemli değişiklikler göstermektedir (Ateşok). Ortam pH değeri, gerek pülp içinde bulunan katılaşma ve gerekse pülpe ilave edilen polimere etki etmekte ve doğal özelliklerini değiştirmektedir. Şekil 7'de, kaolen'in ortam pH değerine bağlı olarak, poliakrilamid ile adsorpsiyon özellikleri gösterilmiştir (Hollander ve Somasundaran, 1981). Ortam pH'sı yükseldikçe, poliakrilamidin adsorpsiyon miktarı kaolen yüzeyinde azalmaktadır. Bu durum, ortam pH'sı ile değişim gösteren elektrostatik kuvvet ile izah edilebilir. Kaolen yüzeyindeki zeta potansiyel negatif yük, ortam pH'sı arttıkça artmakta olup, negatiflik değeri mutlak değerce büyümektedir. Ayrıca yüksek pH değerlerine gidildikçe, iyonik olmayan poliakrilamid (PAM) hidrolize olarak anyonik bir yapı göstermeye başlamaktadır. Bunun sonucunda ortamda bulunan polimer, kaolen tarafından elektrostatik olarak itilmekte ve adsorpsiyon değeri düşmektedir.

### 6. SONUÇ

Son 5 yıl içerisinde cevher hazırlamada dağılmış ince boyutlu malzemelerin değerlendirilmesinde kullanılmaya başlanılan polimerlerin etkinliği günden güne artmakta olup, sistemlerde etkin olan parametrelerin optimal değerleri sağlıklı bir biçimde laboratuvar düzeyinde saptandığı takdirde, endüstrideki uygulamalarda da başarılı olacağı kesindir, özellikle polimerle'r ile salkımlaştırılacak ve salkımlaştırılmayacak pülp içinde mevcut katıların fiziksel, kimyasal ve elektrokinetik özelliklerinin çok iyi bilinmesi, başarının en büyük faktörü olarak kabul edilmektedir.



Şekil 7. Ortam pH'sının polimer adsorpsiyonu üzerindeki etkisi (Ateşok ve Somasundaran, 1985).

## KAYNAKLAR

- ATEŞOK, G., and SOMASUNDARAN, P., 1985; "Flocculation and Adsorption of Polyacrylamides on Na-kaolinite", Columbia University, New York, May, to be published.
- ATEŞOK, G., "Adsorption of Polymers", İTÜ Mining Faculty, Mineral Proc.Dept., to be published.
- ATEŞOK, G., SOMASUNDARAN, P., and MORGAN, L.J., 1986; "Charge Effects in the Adsorption of Polyacrylamides on Na-kaolinite and its Flocculation", Columbia University, New York, to be published.
- BLAGOV, I.S., 1970; "Flocculation of Minerals and Carbon Suspension by Polymers", 9 th. Int.Min.Proc. Cong. Vol. 1 and Vol. 3, Prague.
- BROGOITTI, W.B., and HOWALD, F.P., 1974; "Selective Flocculation and Flotation of Slimes from Sylvinitic Ores", U.S.Patent 3, 805, 951. Ace.
- DODSON, P.J., and SOMASUNDARAN, P., 1984; "Desorption of Polyacrylamide and Hydrolyzed Polyacrylamide from Kaolinite Surface", Journal of Colloid and Interface Science, Vol. 97, No. 2, Feb.
- FRIEND, J.P., and KITCHENER, J.A., 1973; "Some Physico-chemical Aspects of the Separation of Finely-divided Minerals by Selective Flocculation", Chem. Engng. Sci. Vol. 38.
- HOLLANDER, A. F., and SOMASUNDARAN, P., 1981; "Adsorption of Polyacrylamide and Sulfonated Polyacrylamide on Na-kaolinite", Columbia University, New York, Master thesis.
- HUNTER, T.K., and PEARSE, M.J., 1982; "The Use of Flocculants and Surfactants for Dewatering in the Mineral Processing Industry", XIV. Int. Mineral Proc. Cong., Toronto-Canada.
- READ, A.D., and HOLLICK, C.T., 1976; "Selective Flocculation Techniques for Recovery of Fine Particles", Minerals Sei. Engng., Vol. 8, No. 3.
- SHER, P., MILOSHEVIC, M., and BULATOVICH, P., 1986; "Anionic Flotation of Chromite in an Alkaline Media Without Preliminary Desliming", 8 th. Int. Min. Proc. Cong. Leningrad.
- SOMASUNDARAN, P. and FUERSTENAU, D.W., 1975; "Research Needs in Mineral Processing, Report of a workshop held at Arden House, Columbia Univ. New York.
- USANI, L., 1968; "Selective Properties of Flocculants and Possibilities of Their Use in Flotation of Fine Minerals, 8 th. Int. Min. Proc. Cong. Vol. 1, paper D-13, Leningrad.
- YARAR, B., and KITCHENER, J.A., 1970; "Selective Flocculation of Minerals", Trans.Instn.Min.Metall, Vol. 79.
- ....., 1974; "Tilden Based on Processing Breakthrough", Engng. Min. J. Vol. 175, pp. 140-142, Nov.