

Kömür hazırlama tesis artıklarının koagülasyon ile susuzlandırılmasında farklı koagülant tiplerinin etkisinin araştırılması

Mehmet Faruk ESKİBALCI*, Mehmet Furkan ÖZKAN

İstanbul Üniversitesi Müh. Fak. Maden Mühendisliği Bölümü, Avcılar Kampüsü, İstanbul

Geliş Tarihi (Received Date): 06.02.2018

Kabul Tarihi (Accepted Date): 25.12.2018

Özet

Bu çalışmada, kömür hazırlama tesis atık sularının koagülasyon ile çöktürülmesinde farklı tip koagülantların çöktürme verimi üzerindeki etkisi araştırılmış ve elde edilen sonuçlar birbirleriyle mukayese edilerek en uygun koagülant tipi belirlenmeye çalışılmıştır. Koagülasyon testlerinde koagülant tipi ve miktarı, ortam pH'sı, karıştırma süresi ve hızı gibi parametreler test edilmiştir. Her bir deney sonrası süspansiyonun türbiditesi ölçülerek koagülasyon verimleri hesaplanmıştır. Demir sülfat, alüminyum sülfat ve demir klorür ile yapılan koagülasyon deneylerinden elde edilen sonuçlara göre koagülasyon verimlerinin sırasıyla; %67.21, %88.71 ve %94 olduğu tespit edilmiştir. Deneyler sırasında koagülantların tüketim miktarlarından yola çıkarak işlem maliyetleri de tespit edilmiştir. Tüm bu sonuçlar ışığında demir klorürün diğer koagülantlara göre daha verimli ve ekonomik olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Kömür, koagülasyon, koagülant, demir sülfat, demir klorür.

Investigation of the effects of different coagulant types for dewatering of coal plant tailings

Abstract

In this study, the effects of different types of coagulants were investigated on the precipitation of coal preparation plant wastewaters and the results were compared with each other to determine the most suitable coagulant type. In coagulation tests, parameters such as type and amount of coagulant, media pH, mixing time and speed

* Mehmet Faruk ESKİBALCI, eskibal@istanbul.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0001-9163-7899>

Mehmet Furkan ÖZKAN, ozkanmfurkan@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0001-6489-2229>

were tested. After each test, the turbidity of the suspension was measured and the coagulation efficiencies were calculated. The results of coagulation experiments with iron sulphate, aluminum sulphate and ferric chloride showed that the coagulation efficiencies were; 67.21%, 88.71% and 94%, respectively. During the experiments, the costs of the coagulants have been determined from the consumption amounts of the coagulants. All these results indicate that iron chloride is more efficient and economical than other coagulants.

Keywords: Coal, coagulation, coagulant, iron sulphate, iron chloride.

1.Giriş

Linyit, ısı değeri düşük, barındırdığı kül ve nem miktarı fazla olduğu için genellikle termik santrallerde yakıt olarak kullanılan bir enerji hammaddesidir. Son yıllarda arama faaliyetleri sonucunda ülkemiz linyit rezervleri de önemli ölçüde arttırılmıştır. Ülkemiz linyit rezerv ve üretim miktarları açısından dünya ölçeğinde orta düzeyde değerlendirilebilir. Toplam dünya linyit kömür rezervinin yaklaşık %3.2'si ülkemizde bulunmaktadır. Bununla birlikte linyitlerimizin büyük kısmının ısı değeri düşük olduğundan termik santrallerde kullanımı ön plana çıkmaktadır. Ülkemiz linyit rezervinin yaklaşık %46'sı Afşin-Elbistan havzasında bulunmaktadır [1].

Üretilen kömürlerin kullanılmadan önce tesislerde bir dizi işlemde geçmesi gerekmektedir. Bunlar arasında, yıkama, yaş eleme, çöktürme, susuzlandırma vb. bulunmaktadır [2]. Kömür hazırlama tesislerinde uygulanan proseslere bağlı olarak içerisinde çok ince boyutta mineral maddelerden oluşan (kömür, kil, kuvars vb.) atık sular ortaya çıkmaktadır. Bu atık suların doğrudan çevreye bırakılması önemli çevre problemlerine yol açmaktadır. Bunu önlemek için katı-sıvı ayırımı yaparak mümkün olduğunca katı içeriği düşük su elde etmek ve bu suyunda tesiste tekrar kullanılmasını sağlamak önem arz etmektedir. Susuzlandırma işlemleri cevher hazırlama ve kömür yıkama tesislerinde en maliyetli işlemlerden birisidir [3]. Susuzlandırma işlemi tikiner denilen büyük havuzlarda flokülasyon ve koagülasyon gibi klasik yöntemler ile uygulanabilmektedir [4-5]. Bu her iki yöntemde de taneciklerin çökmesini hızlandırıcı ilave kimyasallar kullanılmaktadır. Ancak bu işlem, süspansiyon içerisindeki farklı şekil, boyut ve ağırlıktaki tanelerin varlığı, her bir tanenin farklı koloidal davranışı ve ortamdaki kaynaklanan değişkenler nedeniyle karmaşık bir yapı arz etmektedir [6-8].

Flokülasyon ve koagülasyon yöntemleri aynı amaçla kullanılmasına karşın aralarındaki fark, koagülasyonda süspansiyona iyon ilavesi ile katı-sıvı ara yüzeyinde oluşan elektriksel yüklerin karşılıklı olarak azaltılması sonucu itme kuvvetlerinin etkinliğinin yitilmesi iken, flokülasyonda çözeltiye yüksek molekül ağırlıklı polimer ilavesiyle tanelerin salkımlaşmasını sağlamaktır [7]. Süspansiyon içerisindeki tanelerin belli bir elektrik yükleri vardır. Bu yükün işareti ve miktarı tanelere göre değişiklik gösterebilmektedir ve bu taneler arası etkileşimde önemli rol oynamaktadır [9].

Bu çalışmada özel bir madencilik firmasının kömür hazırlama tesisinden alınan atık sularının koagülasyonunda farklı tip koagülantların etkisi araştırılmış, ayrıca verim ve maliyet bakımından da bir birbirleri ile mukayese edilmiştir.

2. Malzeme ve metod

2.1 Malzemeler

Bu çalışmada kullanılan kömür atık su numunesi Marmara bölgesi Tekirdağ ili sınırları içerisinde faaliyet gösteren özel bir madencilik firmasından elde edilmiştir. Kömür hazırlama tesis atıksu numunelerinin çöktürüldüğü tikiner giriş ünitesinden pülp halinde alınan numuneler laboratuara 20 şer kg'lık plastik bidonlar içerisinde getirilmiştir.

Koagülasyon deneylerinde koagülant olarak piyasada yaygın olarak bulunan alüminyum sülfat [$Al_2(SO_4)_3 \cdot 16H_2O$], demir sülfat [$FeSO_4 \cdot 7H_2O$] ve demir klorür [$FeCl_3 \cdot 6H_2O$] (analitik saflıkta) kullanılmıştır.

Alüminyum sülfat “alüm” olarak ifade edilen ve suda kolayca çözünebilen bir bileşiktir. Alüm ile koagülasyon düşük pH'larda ($pH < 4$) genellikle yük nötralizasyonu ile gerçekleşirken nötral pH'larda ($pH 6-8$) sıyırma mekanizması ile gerçekleşmektedir. Çünkü düşük pH'larda süspansiyonda bol miktarda serbest Al^{+3} iyonları bulunurken orta ve yüksek pH'larda hidroksilli Al bileşiği olan $Al(OH)_3$ çökeleği oluşmaktadır. Alümün sudaki hidrolizi sonucu oluşan alüminyum hidroksit genellikle $Al_2O_3 \cdot xH_2O$ formundadır ve amfoterdir. $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ formülü ile gösterilen demir sülfat, endüstriyel atık suların arıtılmasında ve zirai faaliyetlerde gübre olarak kullanılan bir koagülanttır. Su ile etkin reaksiyonu pH 5-10 aralığında olmaktadır. $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ formülü ile gösterilen demir klorürde demir +3 değerlidir. Demir klorürün su ile etkin reaksiyonu pH 6-9 aralığında sağlanmaktadır. Çözelti formu korozif özelliğe sahiptir. $FeCl_3$ etkili bir koagülant olmasının yanı sıra suda hidrolizi sonucu oldukça aktif ve geniş bir yüzey alanına sahip $Fe(OH)_3$ flokları oluşturmaktadır.

Tesisten alınan proses suyu ve laboratuarda kullanılan şebeke suyunun kimyasal analizleri yapılarak katyon ve anyon değerleri belirlenmiştir. Atık numunesinin tane boyut dağılım analizi Malvern Mastersize 2000 model cihaz ile, kimyasal analizi Axios SST-Max XRF cihazı ile ve mineralojik analizi ise Rigaku D/Max-2200/PC XRD cihazı ile yapılmıştır. Isıl değer analizleri de yapılarak numunenin alt ve üst ısıl değerleri tespit edilmiştir.

Farklı iyon konsantrasyonlarının atık numunesinin yüzey yükü üzerinde bir etkisinin olup olmadığını araştırmak için saf su, proses suyu ve şebeke suyu içerisinde zeta potansiyeli ölçümleri Brookhaven Zetaplus, USA marka cihaz kullanılarak 1% katı oranında gerçekleştirilmiştir.

2.2 Metod

Tesisten gelen numunelerin PKO' nını belirlemek için öncelikle katı-sıvı ayırımı yapılarak serbest su uzaklaştırılmış ve daha sonra doğal kurutma ile tüm malzeme kurutularak homojen hale getirilmiştir. Tesisten getirilen numunenin PKO' nı %3 olarak tespit edilmiş ve yapılan tüm deneylerde bu oran baz alınarak 1 lt'lik kap içerisine 30 gr kurutulmuş atık numunesi şebeke suyu ile birlikte konulup karıştırılmış ve deney numuneleri hazırlanmıştır.

Çoğu kolloidal maddeler negatif yüzey yüklerine sahip olduklarından dolayı çöktürme işlemi genellikle koagülant olarak +3 değerlikli alüminyum ve demir kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu elementlerin sülfat veya klorür bileşikleri suya eklendiğinde sudaki alkalinite ile birleşerek metal hidroksitleri oluşturmaktadır. Oluşan metal

hidroksitler normal pH değerlerinde az çözünen ve çökebilene özelliğe sahiptirler. Koagülasyon deneylerinde reaktif tipi ve miktarı, ortam pH'sı karıştırma süresi ve hızı gibi farklı işletme parametrelerinin süspansiyonun çökme davranışı üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Koagülasyon deneyleri 150x90x85 mm boyutlarında 1150 cm³ hacimli pleksiglastan imal edilmiş bir reaktör içerisinde gerçekleştirilmiştir. Her bir deney öncesinde atık süspansiyonları bir manyetik karıştırıcı yardımıyla 500 devir/dk hızla 30 dk boyunca karıştırılarak homojen hale getirilmiştir.

Koagülasyon deneylerinde her deneyin 10,20,30 ve 60. dakikalarında süspansiyon yüzeyinin 2 cm aşağısından alınan numunelerin bulanıklık değerleri türbidimetre ile NTU cinsinden ölçülmüştür. Koagülasyon deneyleri için uygulanan parametreler Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1: Koagülasyon deney parametreleri.

Koagülant	Karıştırma Süresi (dk)	Karıştırma Hızı (dev./dk)	Dozaj (cm ³)	pH
AlSO ₄	0.67-1-2.5-5-10	100-150-200-250-300	10-15-20-25-30	6-7.56(doğ.pH*)-8-9
FeSO ₄	2.5-5-10-15-20	150-200-250-300-350	10-15-20-25-30	6-7.65(doğ.pH*)-8-9
FeCl ₃	1.15-2.5-5-10-15	100-150-200-250-300	10-15-20-25-30	6-7.56(doğ.pH*)-8-9

*Süspansiyona hiçbir pH ayarlayıcı ilave edilmeksizin ölçülen pH değeri

Deney sonuçları yapılan türbidite ölçümleri ile değerlendirilmiştir. Türbidite uzaklaştırma verimi Formül 1 ile hesaplanmıştır;

$$R(\%) = \frac{T_0 - T_t}{T_0} \times 100 \quad (1)$$

Burada; T₀, koagülasyon işlemleri öncesinde süspansiyonun ilk türbiditesi; T_t, belirlenmiş çökme süresi sonundaki türbiditesidir.

3. Bulgular

Tesisten alınan proses suyu ve laboratuarda kullanılan şebeke suyunun yapılan kimyasal analiz sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Test sonuçlarına bakıldığında proses suyu içerisindeki katyonların sodyum, magnezyum ve kalsiyum olduğu görülürken anyon olarak da büyük oranda sülfat ve klor'un varlığı görülmektedir.

Malvern Mastersize 2000 model cihaz ile yapılan atık numunesinin tane boyut dağılımı analizi sonucunda numunenin ortalama tane boyutu (d₅₀) 45 mikron olarak tespit edilmiştir. Axios SST-Max XRF cihazı ile yapılan numunenin kimyasal analiz sonuçları Tablo 3'de verilmiştir. Yapılan analiz sonucunda numunenin kızdırma

kaybının %30 olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç numune içerisinde önemli miktarda karbonlu bileşik yani kömür bulunduğunu göstermektedir.

Tablo 2: Proses suyu ve şebeke suyunun kimyasal analiz sonuçları.

Anyon/Kasyon Tipi		Proses Suyu,ppm	Şebeke Suyu,ppm
Anyonlar	Florür	0.1	0.1
	Klorür	93.5	29.1
	Bromür	0.1	0.1
	Nitrat	0.1	1.8
	Sülfat	1537.8	41.7
Kasyonlar	Sodyum	291.0	19.8
	Potasyum	17.6	2.5
	Magnezyum	209.4	6.4
	Kalsiyum	111.9	45.2

Tablo 3: Numunenin kimyasal analizi

Bileşik	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	TiO ₂	Na ₂ O	K.K.
%	38.07	13.23	7.63	3.02	2.85	2.11	0.53	0.20	30

Rigaku D/Max-2200/PC XRD cihazı ile yapılan mineralojik analiz sonucunda numune içerisinde; linyit, kuvars, muskovit, montmorillonit, klorit, serpantin, kalsit ve dolomit gibi minerallerin varlığı tespit edilmiştir. Isıl değer analizleri de yapılarak numunenin alt ve üst ısıl değerleri belirlenmiştir. Alt ve üst ısıl değerleri sırasıyla 802 kcal/kg ve 820 kcal/kg olarak bulunmuştur. Atık numunesinin saf su, proses suyu ve şebeke suyu ile yapılmış zeta potansiyeli ölçüm sonuçları Tablo 4’de verilmiştir.

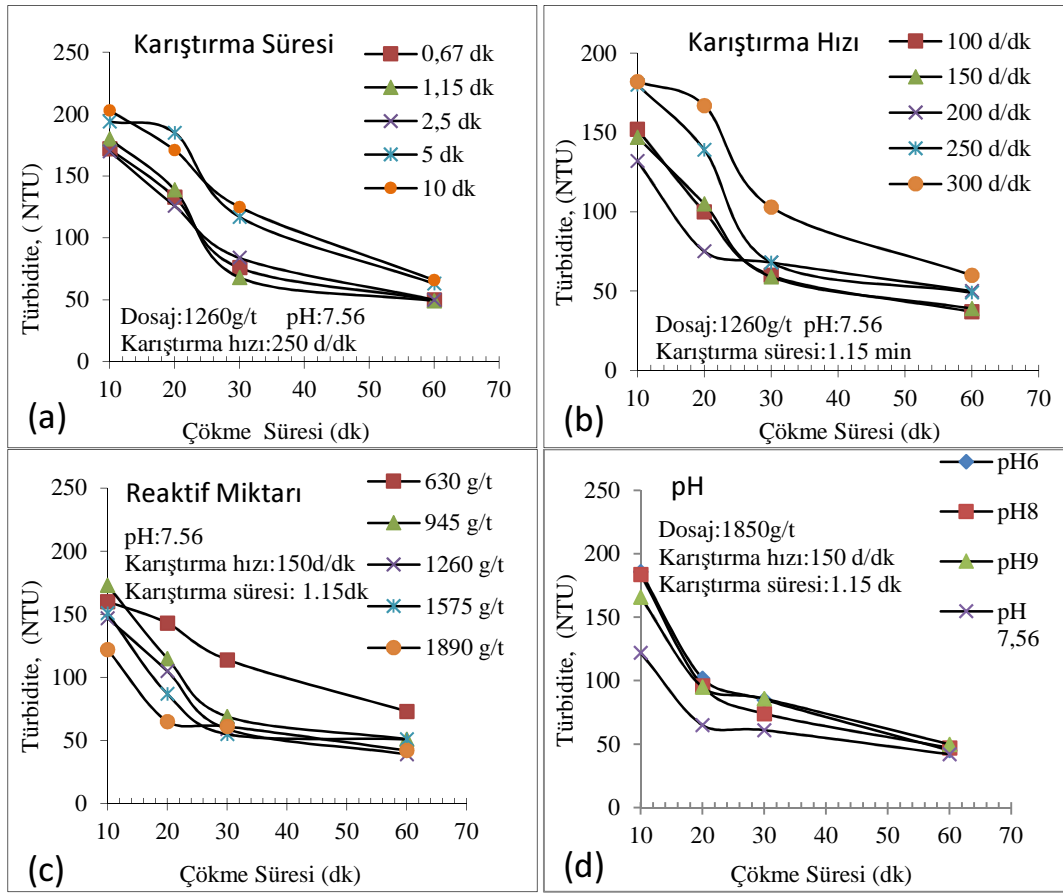
Tablo 4: Kömür atık numunesinin zeta potansiyeli değerleri

Su Tipi	pH(doğal)	Zeta Potansiyeli (mV)	İletkenlik (mS/cm)
Saf su	6.09	-17.53	0.5
Şebeke suyu	7.8	-22.12	1.3
Proses Suyu	7.66	-24.17	6.4

Tablo 4’de görüldüğü gibi atık numuneleri her üç su içerisinde negatif yüzey yüküne sahiptir. Deneylerde kullanılan süspansiyonların iletkenlik değerlerine bakıldığında proses suyu içerisinde diğerlerine göre daha fazla iletkenlik ölçülmüştür. Bu sonuçlar proses suyunun diğerlerine göre oldukça tuzlu olduğunu göstermektedir. Proses su içerisinde elde edilen negatif yük özellikle sülfat iyonunun minerallerin zeta potansiyelleri üzerindeki etkisini açıklamaktadır.

3.1. Alüminyum sülfat [$Al_2(SO_4)_3 \cdot 16H_2O$] ile yapılan deneyler

Alüminyum sülfat ile yapılan koagülasyon deney sonuçları Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1: Alüminyum sülfat ile yapılan deneylerde a) Karıştırma süresi b) Karıştırma hızı c) Reaktif miktarı d) Ortam pH'sının koagülasyona etkisi

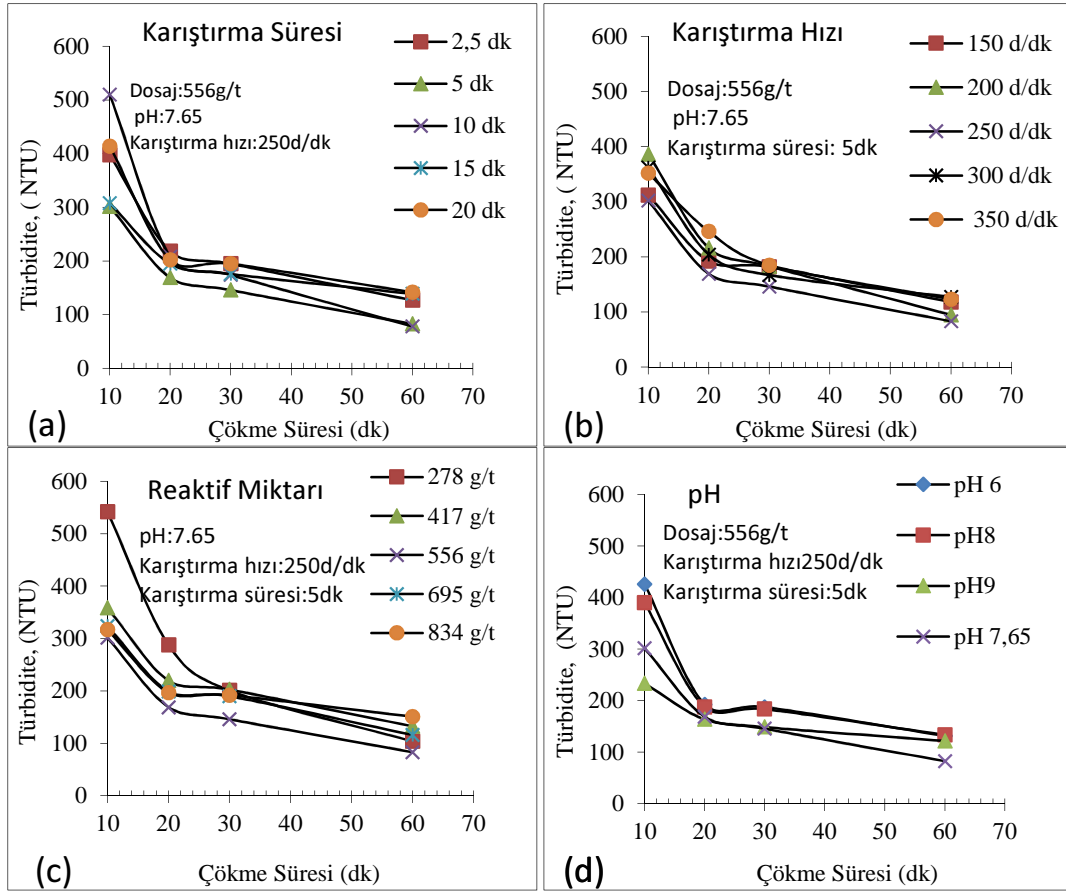
Optimum karıştırma süresini belirlemek için yapılan ilk aşama deneylerde diğer parametreler olan reaktif miktarı, pH ve karıştırma hızı sırasıyla 1260 g/ton, 7.56 (doğal pH) ve 250 d/dk olarak sabit tutulmuştur. Şekil 1(a) incelendiğinde süspansiyonun karıştırma süresi arttıkça ölçülen bulanıklık değerlerinde bir artış gözlemlendi, en düşük bulanıklık sonuçlarının ise 1.15 dk'lık karıştırma süresi sonrasında yapılan deneylerden elde edildiği görülmüştür. Optimum karıştırma hızını belirlemek için yapılan deneylerde diğer parametreler olan karıştırma süresi, reaktif miktarı ve pH sırasıyla 1.15 dk, 1260 g/ton ve 7.56 (doğal pH) olarak sabit tutulmuştur. Şekil 1(b) incelendiğinde süspansiyonun karıştırma hızı arttığında bulanıklık değerlerinde de bir artış olduğu, en iyi sonuçların ise 150 devir/dk karıştırma hızı ile yapılan deneylerden elde edildiği görülmüştür. Optimum reaktif miktarını belirlemek için yapılan deneylerde diğer parametreler olan karıştırma süresi, karıştırma hızı ve pH sırasıyla 1.15 dk, 150 d/dk ve 7.56 (doğal pH) olarak sabit tutulmuştur. Şekil 1(c)'yi incelediğimizde reaktif miktarı arttıkça farklı çökme sürelerinde elde edilen bulanıklık değerlerinin düştüğü, en iyi sonuçların 1890 g/ton reaktif miktarının kullanıldığı deneylerden elde edildiği tespit edilmiştir. Optimum pH'yı belirlemek için yapılan deneylerde diğer parametreler olan karıştırma süresi, karıştırma hızı ve reaktif miktarı sırasıyla 1.15 dk, 150 d/dk ve 1890 g/ton olarak sabit tutulmuştur. Şekil 1(d)

incelendiğinde pH 7.56(doğal pH) da yapılan deneylerde en düşük bulanıklık sonuçlarının alındığı, ortamın asidik veya bazik olması durumunda reaktifin koagüle etme özelliğinin azaldığı tespit edilmiştir.

Alüminyum sülfat ile yapılan deneylerden elde edilen veriler ışığında optimum deney şartlarının 1.15 dk karıştırma süresi, 150 devir/dk karıştırma hızı, 1890 g/ton reaktif miktarı ve doğal pH (pH=7.56) olduğu, bu koşullarda yapılan deney ile süspansiyonun türbiditesi başlangıç değeri olan 551 NTU'dan 65 NTU değerine %88.71 koagülasyon verimi ile düşürüldüğü tespit edilmiştir.

3.2.Demir sülfat [$FeSO_4 \cdot 7H_2O$]

Demir sülfat ile yapılan koagülasyon deney sonuçları Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2: Demir sülfat ile yapılan deneylerde a) Karıştırma süresi b) Karıştırma hızı c) reaktif miktarı d) Ortam pH'sının koagülasyona etkisi

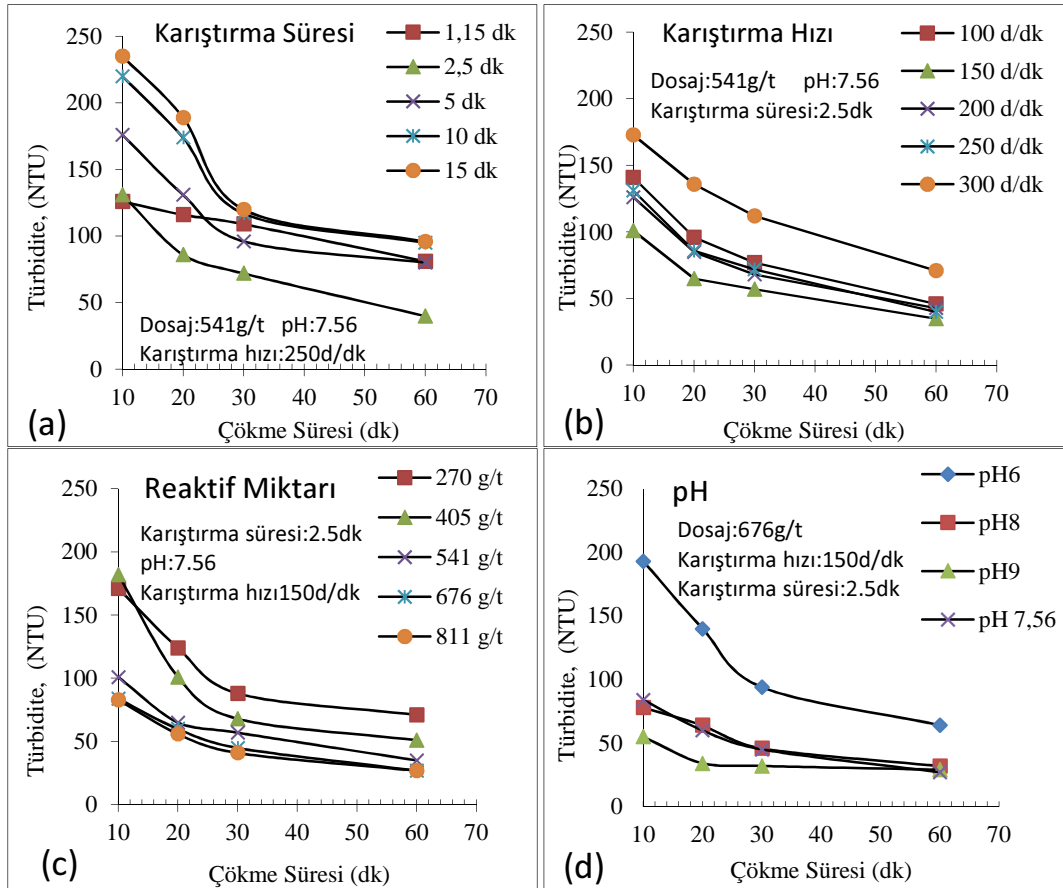
Optimum karıştırma süresini belirlemek için yapılan ilk aşama deneylerde diğer parametreler olan reaktif miktarı, pH ve karıştırma hızı sırasıyla 556 g/ton, 7.65(doğal pH) ve 250 d/dk olarak sabit tutulmuştur. Şekil 2(a) incelendiğinde süspansiyonun karıştırma süresi arttıkça farklı çökme sürelerinde ölçülen bulanıklık değerlerinde bir artış gözlemlendiği, en düşük bulanıklık değerlerinin ise 5 dk'lık karıştırma süresi sonrasında yapılan deneylerden elde edildiği görülmüştür. Optimum karıştırma hızını belirlemek için yapılan deneylerde diğer parametreler olan karıştırma süresi, reaktif miktarı ve pH sırasıyla 5dk, 556 g/ton, ve 7.65(doğal pH) olarak sabit tutulmuştur. Şekil 2(b) incelendiğinde en iyi sonuçların 250 devir/dk karıştırma hızı ile yapılan

deneylerden elde edildiği görülmüştür. Optimum reaktif miktarını belirlemek için yapılan deneylerde diğer parametreler olan karıştırma süresi, karıştırma hızı ve pH sırasıyla 5dk, 250 d/dk ve 7.65(doğal pH) olarak sabit tutulmuştur. Şekil 2(c)'yi incelediğimizde en iyi sonuçların 20 cm³ (556 g/ton) reaktif miktarının kullanıldığı deneylerden elde edildiği tespit edilmiştir. Optimum pH'yı belirlemek için yapılan deneylerde ise diğer parametreler olan karıştırma süresi, karıştırma hızı ve reaktif miktarı sırasıyla 5dk, 250 d/dk ve 556 g/ton olarak sabit tutulmuştur. Şekil 2(d) incelendiğinde ise pH 7.65 (doğal pH) da yapılan deneylerde en iyi sonuçların alındığı tespit edilmiştir.

Demir sülfat ile yapılan deneylerde elde edilen veriler ışığında optimum deney şartlarının; 5 dk karıştırma süresi, 250 devir/dk karıştırma hızı, 20 cm³ (556 g/ton) reaktif miktarı ve pH 7.65(doğal pH) olduğu tespit edilmiştir. Bu koşullarda yapılan deney ile süspansiyonun türbiditesi başlangıç değeri olan 555 NTU'dan 83 NTU değerine %85.05 koagülasyon verimi ile düşürülmüştür.

3.2. Demir klorür [FeCl₃. 6H₂O]

Demir sülfat ile yapılan koagülasyon deney sonuçları Şekil 3'de verilmiştir.



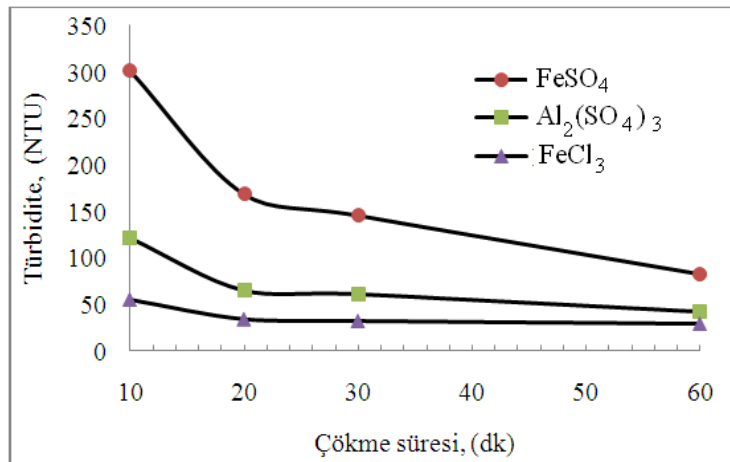
Şekil 3: Demir klorür ile yapılan deneylerde a) Karıştırma süresi, b) Karıştırma hızı, c) reaktif miktarı, d) Ortam pH'sının koagülasyona etkisi

Optimum karıştırma süresini belirlemek için yapılan ilk aşama deneylerde diğer parametreler olan reaktif miktarı, pH ve karıştırma hızı sırasıyla 541 g/ton, 7.56(doğal pH) ve 250 d/dk olarak sabit tutulmuştur. Şekil 3(a) incelendiğinde süspansiyonun

karıştırma süresi arttıkça farklı çökme sürelerinde ölçülen bulanıklık değerlerinde bir artış gözlemlendiği, en düşük bulanıklık sonuçların 2.5 dk'lık karıştırma süresi sonrasında yapılan deneylerden elde edildiği görülmüştür. Optimum karıştırma hızını belirlemek için yapılan deneylerde diğer parametreler olan karıştırma süresi, reaktif miktarı ve pH sırasıyla 2.5dk, 541 g/ton ve 7.56(doğal pH) olarak sabit tutulmuştur. Şekil 3(b) incelendiğinde karıştırma hızı arttıkça bulanıklık değerlerinde abir artış olduğu en düşük bulanıklık sonuçlarının ise 150 devir/dk karıştırma hızı ile yapılan deneylerden elde edildiği görülmüştür. Optimum reaktif miktarını belirlemek için yapılan deneylerde diğer parametreler olan karıştırma süresi, karıştırma hızı ve pH sırasıyla 2.5dk, 150 d/dk ve 7.56(doğal pH) olarak sabit tutulmuştur. Şekil 3(c)'yi incelediğimizde reaktif miktarı arttıkça bulanıklık değerlerinde bir düşme olduğu, 25 cm³ (676 g/ton) ve 30 cm³ (811 g/ton) reaktif miktarlarının en iyi sonuçları verdiği tespit edilmiş, maliyet göz önüne alınarak bundan sonraki deneylerde 25 cm³ (676g/ton) değerinin optimum reaktif miktarı olarak alınmasına karar verilmiştir.

Optimum pH'yı belirlemek için yapılan deneylerde diğer parametreler olan karıştırma süresi, karıştırma hızı ve reaktif miktarı sırasıyla 2.5dk, 150 d/dk ve 676 g/ton olarak sabit tutulmuştur. Şekil 3(d) grafiği incelendiğinde bütün pH değerlerinde çökme süresinin artışına bağlı olarak türbidite değerlerinin düştüğü belirlenmiştir. pH 9 da yapılan deneylerde ise ilk 30 dk'lık çökme süresi için en düşük türbidite değeri elde edilirken çökme süresinin artışı ile doğal pH'da yapılan deney sonuçlarının da pH 9'da elde edilen sonuçlara ulaştığı tespit edilmiştir. Tüm bu sonuçlar ışığında optimum deney şartlarının; 2.5 dk karıştırma süresi, 150 devir/dk karıştırma hızı, 676 g/ton reaktif miktarı ve doğal pH(7.56) olduğu tespit edilmiştir. Bu koşullarda yapılan deney ile süspansiyonun türbiditesi başlangıç değeri olan 566 NTU'dan 34 NTU değerine %93.99 koagülasyon verimi ile düşürülmüştür.

Şekil 4'de konvansiyonel koagülasyon deneylerinde kullanılan 3 farklı koagülantın optimum koşullarda yapılan deneylerinden elde edilen türbidite değerleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 4: Üç farklı koagülant ile yapılan deneylerin türbidite değerleri

Şekil 4'de görüldüğü gibi lavvar tesisi kömür artıkları üzerinde; demir sülfat, alüminyum sülfat ve demir klorür gibi reaktifler ile değişik şartlarda gerçekleştirilen bir dizi koagülasyon deneyleri sonucunda, demir klorürün diğer reaktiflere göre daha düşük türbidite değerleri verdiği görülmüştür.

4. Sonuçlar ve tartışma

Koagülasyon deneyleri sonucunda süspansiyonun pH'sı ve reaktif miktarı koagülasyonu etkileyen iki önemli parametre olarak ortaya çıkmaktadır. Süspansiyondan kömür artıklarının uzaklaştırılmasında optimum pH değerleri alüminyum sülfat için 7.56(doğal pH), demir sülfat için 7.65(doğal pH) ve demir klorür için 7.56(doğal pH) olarak belirlenmiştir. Bu durum literatürde Bentli ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada elde ettiği genellikle kömür atıklarının çöktürülmesinde doğal pH'da çökme hızının maksimuma çıktığı sonucuyla uyumludur. Cengiz ve arkadaşları kömür atıkları üzerine yaptıkları flokülasyon çalışmalarında düşük karıştırma hızlarında yerçekimi kuvvetinin tanelerin çökmesinde daha etkin olduğunu belirtmişlerdir ki bu da bizim çalışmamızda bulduğumuz değerler ile uyumludur. Optimum reaktif miktarları da sırasıyla 1890 g/ton, 556 g/ton, ve 676 g/ton olarak tespit edilmiştir. Elde edilen türbidite uzaklaştırma verimlerinde sırasıyla %88.71, %85 ve %94 olarak gerçekleşmiştir. Deneylerde kullanılan koagülantların tüketim miktarları dikkate alınarak yapılan maliyet analizlerinde ise alüminyum sülfat için için 78.75 TL/ton artık , demir sülfat için 20.75 TL/ton artık ve demir klorür için 21.86 TL/ton artık olarak hesaplanmıştır. Verim ve maliyet değerleri birlikte değerlendirildiğinde ise demir klorürün en iyi sonuçları verdiği tespit edilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje No: 28767).

Kaynaklar

- [1] Hacifazlıoğlu H., A new process for the production of medium quality fuels from coal washing plant coarse tailings, **Energy Sources Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects** , vol. 38, Issue 19, 2809-2815, (2016).
- [2] Das B., Prakash S., Biswal S.K., and Reddy P.S.R., "Settling characteristics of coal washery tailings using synthetic polyelectrolytes with fine magnetite, **The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy**, vol. 106, 707-716, (2006).
- [3] Hassas B.Z., Karakas F., Celik M. S., Ultrafine coal dewatering: Relationship between hydrophilic lipophilic balance (HLB) of surfactants and coal rank, **International Journal of Mineral Processing**, vol.133, 97-104,(2014).
- [4] Sabah E., Erkan Z.E., Interaction mechanism of flocculants with coal waste slurry. **Fuel**, vol.85(3), 350-359,(2006).
- [5] Jiang J. Q., The role of coagulation in water treatment, **Chemical Engineering**, vol.8, 36-44,(2015).
- [6] Sabah E., Yuzer H., and Celik M.S., Characterization and dewatering of fine coal tailings by dual-flocculant systems. **International Journal of Mineral Processing**, vol.74 (1), 303-315,(2004).
- [7] Bentli İ., Kömür lavvar tesisi atıkların flokülasyonunda inorganik elektrolitlerin etkisi, **Ekoloji**, vol.19, Issue:76, 71-77,(2010).
- [8] Alam N., Ozdemir O., Hampton M.A., Nguyen A.V., "Dewatering of coal plant tailings: Flocculation followed by filtration", **Fuel**, 90, 26-35,(2011).
- [9] Zhang Z., Liu J., and Wang Y., Evaluation of settling characteristics of coal tailings, **Proceedings, XXVI IMPC**, 6025-6031,(2012).