



**GÖRDES VE KARAÇAM LATERİTİK NİKEL  
CEVHERLERİNİN YBAL SONRASI CCD PROSESİNDE  
ÇÖKME DAVRANIMININ İNCELENMESİ**

**INVESTIGATION OF SETTLING BEHAVIOUR OF  
GÖRDES AND KARAÇAM LATERITIC NICKEL ORES AT  
CCD PROCESS AFTER HPAL**

**ÖYKÜ KESKİN**

**DOÇ.DR N. METİN CAN**

**Tez Danışmanı**

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2019

ÖYKÜ KESKİN'in hazırladığı "Gördes ve Karaçam Lateritik Nikel Cevherlerinin YBAL Sonrası CCD Prosesinde Çökme Davranımının İncelenmesi" adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. N. Emre ALTUN

Başkan



Doç. Dr. N. Metin CAN

Danışman



Dr. Öğr.Üyesi Özlem BIÇAK

Üye



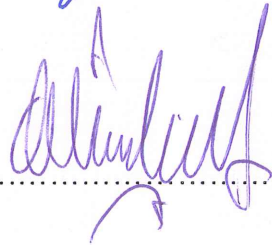
Dr. Öğr. Üyesi Okay ALTUN

Üye



Dr. Öğr. Üyesi Ayşe ÜÇYILDIZ

Üye



Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak ..... / ..... /..... tarihinde onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

13 / 09 / 2019

  
ÖYKÜ KESKİN

## YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan "**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**" kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricince YÖK Ulusal Tez Merkezi / H. Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren .... ay ertelenmiştir.
- Tezim ile ilgili gizlilik kararı verilmiştir.

13... / 09 / 2019



ÖYKÜ KESKİN

## ÖZET

### GÖRDES VE KARAÇAM LATERİTİK NİKEL CEVHERLERİNİN YBAL SONRASI CCD PROSESİNDE ÇÖKME DAVRANIMININ İNCELENMESİ

Öykü KESKİN

Yüksek Lisans, Maden Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Doç.Dr. N. Metin CAN

Eylül 2019, 89 sayfa

Bu tez çalışmasında, Manisa-Gördes ve Eskişehir-Karaçam lateritik nikel cevherleri ile Yüksek Basıncılı Asit Liçi (YBAL) prosesi dahilinde yer alan ters akışlı dekantasyon (Counter Current Decantation, CCD) tikinerlerindeki çökme performansının incelenmesi yapılmıştır.

Çalışma kapsamında, kullanılan tüm test numuneleri farklı zamanlarda çalışan tesis akışından alınmış ve çeşitli iyonite ve molekül ağırlıklarındaki anyonik, katyonik ve noniyonik flokülantlar kullanılarak bir dizi çökme testi uygulanmıştır. Çökme performansı; çökme süresi, berraklık ve sıkışma gibi parametreler doğrultusunda değerlendirilmiştir. Kullanılan flokülantlar her test öncesi taze olarak hazırlanmış ve %0,1 derişimde stok çözelti olarak iki kademe dozajlama ile uygulanmıştır. Flokülantlar molekül ağırlığı ve iyonite bakımından geniş bir skala içerisinde ele alınmış ancak herhangi bir flokülasyon etkisi göstermeyen flokülantlar değerlendirme kapsamına alınmamıştır.

Testlerin yapılacağı optimum şartların belirlenmesi amacı ile ön test yapılarak çamur katı oranı %7 ve flokülant dozajı 850 g/t olarak belirlenmiştir. Test sonuçlarına göre bir değerlendirme yapıldığında noniyonik ve çok düşük anyonik flokülantların daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Anyonikliğin artması ile birlikte flokülasyonun olumsuz yönde etkilendiği tespit edilmiş ve yalnızca çok düşük

anyonitedeki flokülantlar ile sonuç elde edilebildiği görölmüştür. Katyonik flokülantlar ile çökme oranı çok hızlı ancak bilhassa Gördes cevheri için sıkışma miktarları olumlu değildir. Fakat özellikle Karaçam cevheri için katyonik flokülant kullanımı durumunda tüketim miktarının azaltılabileceği öngörülmektedir. Cevherler arasında bir kıyaslama yapıldığında ise genel anlamda benzer sonuçlar alınmış olup, yalnızca Karaçam cevheri için tikiner alt akım yoğunluğu tüm flokülant performansları için başarılı bir sonuç vermiştir. Öte yandan cevher yapılarının değişken ve proses parametrelerinin stabil olmamasının flokülant adsorbsiyon mekanizmalarının değişmesine ve dolayısıyla çökme davranımı üzerinde etkisi olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** CCD, flokülant, çökme davranımı, YBAL

## **ABSTRACT**

### **INVESTIGATION OF SETTLING BEHAVIOR OF GÖRDES AND KARAÇAM LATERITIC NICKEL ORES AT CCD PROCESS AFTER HPAL**

**Öykü KESKİN**

**Master of Science, Department of Mining Engineering**

**Supervisor: Assoc. Prof. N. Metin CAN**

**Eylül 2019, 89 pages**

In this study, the sedimentation performance of Manisa-Gördes and Eskişehir-Karaçam lateritic nickel ores were investigated in counter current decantation (CCD) thickeners at the High Pressure Acid Leaching (HPAL) process.

In the scope of the study, all test samples were taken from the plant stream at different times and a series of sedimentation tests were performed using anionic, cationic and nonionic flocculants of various ionic and molecular weights. The sedimentation performance was evaluated according to parameters such as sedimentation time, clarity and compression. The flocculants used were freshly prepared before each test and applied in two stages as a stock solution at a concentration of 0,1%. Flocculants were studied on a wide scale in terms of molecular weight and ionicity, but flocculants that did not show any flocculation effect were not included in the evaluation.

In order to determine the optimum conditions for the tests, a pre-test was applied and the sludge solid content 7% and the flocculant dosage 850 g/t was indicated. According to the results of the test, it was observed that especially high molecular weight nonionic flocculants gave better results than other flocculants. It has been



found that flocculation is adversely affected with the increase of anionicity and results are obtained only with very low anionic flocculants. The settling rate with cationic flocculants is very fast, but especially for Gördes ore, the amount of compression is not favorable. However, it is envisaged that the amount of consumption can be reduced if cationic flocculant is used. When a comparison was made between the two ores, similar results were obtained in general terms. The thickener underflow density was acceptable for all flocculant performances with Karaçam ore. On the other hand, it was concluded that the variable ore structures and unstable process parameters have an effect on the change of flocculant adsorption mechanisms and consequently on the settling behavior.

**Keywords:** CCD, flocculant, settling behaviour, HPAL

## TEŞEKKÜR

Tüm alıőma sűrecinde yol gűstericilięi ile yanımda olan danıőmanım Sn. Doç. Dr. N. Metin CAN'a,

Çalıőmalarım sűresince teknik desteęini ve yardımlarını esirgemeyen SNF Tűrk Satıő Műdűrű Sn. Ender ELMALI'ya,

Deneysel çalıőmalarımı gerçekleőtirmeme imkân veren Meta Nikel Kobalt Madencilik A.Ő. 'ye, her tűrlű desteęi için Proses Műdűrű Sn. Ayhan YILDIZ'a, ve tűm test çalıőmalarımda bana bir hayli yardımcı olan Sn. Sűleyman KARABACAK'a

Benim için biraz zorlu geçen bu sűrecin her anına tanık olarak her zaman yanımda olan, beni destekleyen, motive eden, fikirlerini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen canım dostum BűŐra ŐZSOY DUMAN'a,

Hayatımın her dűneminde olduęu gibi bu dűnemde de sonsuz desteklerini gűrdűęűm ve her Őartta her zaman yanımda olan gűzel aileme, çalıőmalarım boyunca yanımdan ve bilgisayarımın űzerinden ayrılmayıp her daim destek olan sevgili kedim Kumpir'e teŐekkűr ederim.

# İÇİNDEKİLER

ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER .....	3
2.1. Nikel.....	3
2.2. Türkiye ve Dünya’da Nikel Üretimi .....	4
2.3. Nikelin Kullanım Alanları .....	6
2.4. Lateritik Cevherler.....	6
2.5. Lateritik Nikel Cevherleri .....	7
2.6. Lateritik Nikel Cevherlerinin Zenginleştirilmesi.....	9
2.6.1. Caron Prosesi .....	10
2.6.2. Yüksek Basıncılı Asit Liçi .....	10
2.6.3. Atmosferik Liç .....	11
2.7. Manisa-Gördes Genel Jeolojisi .....	12
2.8. Eskişehir-Mihalıççık-Karaçam Genel Jeolojisi .....	13
2.9. Katı – Sıvı Ayrımı .....	15
2.10. Tikinerler.....	15
2.10.1. Tikiner Çeşitleri .....	17
2.10.1.1. Konvansiyonel Tikinerler.....	17
2.10.1.2. Yüksek Hızlı (Kapasiteli) Tikinerler .....	18
2.10.1.3. Yüksek Yoğunluklu Tikinerler .....	18
2.10.1.4. Macun Tikinerleri .....	18

2.11.	Ters Akışlı Dekantasyon (Counter Current Decantation, CCD)....	19
2.12.	Flokülasyon .....	20
2.12.1.	Flokülasyon Mekanizması.....	21
2.12.1.1.	Köprüleme Mekanizması .....	21
2.12.1.2.	Yük Nötralizasyonu.....	22
2.12.1.3.	Elektrostatik Yama Mekanizması .....	22
3.	LİTERATÜRDE YAPILAN BENZER ÇALIŞMALAR .....	24
4.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	28
4.1.	Proses Tanımı .....	28
4.2.	Cevher Karakterizasyonu.....	30
4.2.1.	XRD Analizleri.....	30
4.2.2.	Kimyasal Analizler.....	32
4.2.3.	Tane Boyu Dağılımı .....	32
4.3.	Malzeme ve Deneysel Yöntem .....	33
5.	DENEYSEL SONUÇLAR.....	39
5.1.	Noniyonik Flokülantlar ile Yapılan Testler .....	40
5.2.	Anyonik Flokülantlar ile Yapılan Testler .....	47
5.3.	Katyonik Flokülant ile Yapılan Testler .....	55
6.	YORUMLAR VE TARTIŞMA .....	63
7.	SONUÇLAR.....	67
	KAYNAKLAR.....	68
	ÖZGEÇMİŞ .....	72

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Lateritik ve Sülfütlü cevher yataklarından Nikel ve Ferronikel eldesi ....	4
Şekil 2.2. 2018 yılı dünya nikel üretim dağılımı .....	5
Şekil 2.3. Nikel kullanım alanları .....	6
Şekil 2.4. Ni laterit profilleri ve cevher tiplerinin dağılımı .....	8
Şekil 2.5. Lateritik nikel yataklarının nikel tenörü dağılımı .....	9
Şekil 2.6. Lateritik cevherlerden nikel üretim yöntemleri .....	12
Şekil 2.7. Genel tikiner tasarımı .....	16
Şekil 2.8. Tikiner içerisinde oluşan zonlaşmanın şematik görünümü .....	17
Şekil 2.9. Tikiner dizaynlarının şematik görünümü .....	19
Şekil 2.10. CCD Sistemi.....	20
Şekil 2.11. Flokülasyonda köprüleme mekanizması.....	22
Şekil 2.12. Negatif yüklü taneler ve katyonik bir polimer arasında yük nötralizasyonu ile flokülasyon mekanizmasının şematik gösterimi.....	22
Şekil 2.13. Elektrostatik yama mekanizması .....	23
Şekil 4.1. CCD Ünitesi akım şeması .....	29
Şekil 4.2. Tesis genel akım şeması.....	30
Şekil 4.3. HPAL Besleme Gördes numunesi XRD grafiği.....	31
Şekil 4.4. HPAL Besleme Karaçam numunesi XRD grafiği .....	31
Şekil 4.5. Tane boyu dağılım grafiği .....	33
Şekil 4.6. Toz flokülant tartımı .....	35
Şekil 4.7. Manyetik karıştırıcı ile hazırlanan flokülant çözeltileri .....	35
Şekil 4.8. Test düzeni ve plunger aparatı .....	38
Şekil 5.1. Gördes cevheri noniyonik flokülant ile çökme süreleri .....	40
Şekil 5.2. Karaçam cevheri noniyonik flokülant ile çökme süreleri .....	41
Şekil 5.3. Gördes cevheri noniyonik flokülant ile sıkışma miktarları .....	42
Şekil 5.4. Karaçam cevheri noniyonik flokülant ile sıkışma miktarları.....	42
Şekil 5.5. Gördes cevheri noniyonik flokülant ile alt akım katı oranı değerleri..	43
Şekil 5.6. Karaçam cevheri noniyonik flokülant ile tikiner alt akım katı oranı değerleri .....	44
Şekil 5.7. Gördes cevheri noniyonik flokülant ile üst akım berraklık değerleri ..	45
Şekil 5.8. Gördes Cevheri ile noniyonik flokülantların test sonu durumu .....	46
Şekil 5.9. Karaçam cevheri noniyonik flokülant ile üst akım berraklık değerleri	46

Şekil 5.10. Karaçam Cevheri ile noniyonik flokülantların test sonu durumu .....	47
Şekil 5.11. Orta ve yüksek anyonik flokülant ile oluşan görünüm.....	48
Şekil 5.12. Gördes cevheri anyonik flokülant ile çökme süreleri.....	48
Şekil 5.13. Karaçam cevheri anyonik flokülant ile çökme süreleri .....	49
Şekil 5.14. Gördes cevheri anyonik flokülant ile sıkışma miktarları .....	50
Şekil 5.15. Karaçam cevheri anyonik flokülant ile sıkışma miktarları .....	50
Şekil 5.16. Gördes cevheri anyonik flokülant ile alt akım katı oranı değerleri...	51
Şekil 5.17. Karaçam cevheri anyonik flokülant ile alt akım katı oranı değerleri	52
Şekil 5.18. Gördes cevheri anyonik flokülant ile üst akım berraklık değerleri ...	53
Şekil 5.19. Karaçam cevheri anyonik flokülant ile üst akım berraklık değerleri	53
Şekil 5.20. Gördes Cevheri ile anyonik flokülantların test sonu durumu.....	54
Şekil 5.21. Karaçam Cevheri ile anyonik flokülantların test sonu durumu .....	55
Şekil 5.22. Gördes cevheri katyonik flokülant ile çökme süreleri .....	56
Şekil 5.23. Karaçam cevheri katyonik flokülant ile çökme süreleri .....	56
Şekil 5.24. Gördes cevheri katyonik flokülant ile sıkışma miktarları .....	57
Şekil 5.25. Karaçam cevheri katyonik flokülant ile sıkışma miktarları.....	58
Şekil 5.26. Gördes cevheri katyonik flokülant ile alt akım katı oranı değerleri ..	59
Şekil 5.27. Karaçam cevheri katyonik flokülant ile alt akım katı oranı değerleri	59
Şekil 5.28. Gördes cevheri katyonik flokülant ile üst akım berraklık değerleri ..	60
Şekil 5.29. Karaçam cevheri katyonik flokülant ile üst akım berraklık değerleri	60
Şekil 5.30. Gördes Cevheri ile katyonik flokülantların test sonu durumu.....	61
Şekil 5.31. Karaçam Cevheri ile katyonik flokülantların test sonu durumu .....	61

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Nikel elementinin özellikleri .....	3
Çizelge 4.1. Birinci Nötralizasyon numunesi katı kimyasal analiz sonuçları .....	32
Çizelge 4.2. Birinci Nötralizasyon numunesi sıvı kimyasal analiz sonuçları .....	32
Çizelge 4.3. Testlerde kullanılan cevher tipleri .....	33
Çizelge 4.4. Birinci nötralizasyon çamur numunesi koşulları .....	34
Çizelge 4.5. CCD-2 tikineri üst akış solüsyonu çalışma koşulları .....	34
Çizelge 4.6. Çökme testi için seyreltilerek hazırlanan çamur numunesinin çalışma koşulları .....	34
Çizelge 4.7. Flokülant molekül ağırlıkları .....	36
Çizelge 4.8. Gördes cevheri için farklı katı oranlarına göre çökme performansı .....	36
Çizelge 4.9. Gördes cevheri için farklı flokülant dozajlarına göre çökme performansı .....	36
Çizelge 4.10. Karaçam cevheri için farklı katı oranlarına göre çökme performansı .....	37
Çizelge 4.11. Karaçam cevheri için farklı flokülant dozajlarına göre çökme performansı .....	37
Çizelge 5.1. Değerlendirme kapsamına alınan flokülantların özellikleri .....	39
Çizelge 5.2. Değerlendirme parametrelerinin optimum değer aralıkları .....	40
Çizelge 5.3. Özet performans tablosu .....	62

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

°C	Santigrat Derece
g/cm <sup>3</sup>	Yoğunluk
g/t	gram/ton

### Kısaltmalar

Ni	Nikel
Co	Kobalt
Fe	Demir
Cr	Krom
Al	Alüminyum
Cu	Bakır
Mg	Magnezyum
Mn	Mangan
Au	Altın
NiMH	Nikel Metal Hidrür
kPa	Kilopascal
dk	Dakika
sn	Saniye
mL	Mililitre
PGM	Platin grubu metalleri
HPAL	High Pressure Acid Leaching
YBAL	Yüksek Basıncılı Asit Liçi
MHP	Mixed Hydroxide Precipitate / Karışık Hidroksit Çökeltisi
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
ÇED	Çevresel Etki Değerlendirmesi
CCD	Counter Current Decantation / Ters Akışlı Dekantasyon
AKM	Askıda Katı Madde



## 1. GİRİŞ

Flokülasyon, bir süspansiyon içerisinde kararlı ve çekim kuvvetleri altında stabil halde olan katı tanelerin destabilize olması sonucu topaklanarak daha iri taneler haline gelmesi olarak tanımlanmaktadır. Bu etkileşimin sağlanması ise flokülantlar aracılığı ile gerçekleşmektedir. Flokülantlar organik yapıda reaktifler olup iyon durumlarına göre anyonik, noniyonik ve katyonik gibi sınıflara ayrılmaktadırlar. Öte yandan farklı zincir yapıları, zincir uzunlukları, viskozite ve iyonite derecelerine göre özellikleri ve kullanım alanları değişmektedir. Flokülantlar etkileşime girdiği malzeme ile arasında farklı adsorpsiyon mekanizmaları kurar ve bahsi geçen flokülasyon olayının gerçekleşmesini bu şekilde sağlarlar.

Flokülantlar günümüzde birçok endüstriyel alanda kullanılmaktadır. Cevher hazırlama tesislerinde katı-sıvı ayrımı ve koyulaştırmanın yanı sıra atık su arıtımı gibi proseslerde de yaygın şekilde kullanılmaktadır. Özellikle katı-sıvı ayrımı konusunda vazgeçilmez bir konuma sahiptir. Genellikle proseslerin belli bir adımından sonra endüstriyel anlamda değerli olan malzemeyi değersiz olan malzemedan ayırmak gerekir. Bu ayrımın gerçekleşmesi için kullanılan ekipmanlardan biri de tikinerlerdir. Tikinerlerin de kullanım alanlarına yönelik farklı tasarımları bulunmaktadır. Çökme olayını doğal haline bırakmak özellikle ince tane içeriğine sahip bir malzeme için çok zaman alan bir süreç olup katı ve sıvı fazların birbirinden ayrımı ya da istenilen verimde gerçekleşmesi de mümkün olmamaktadır. Bu süreci hızlandırmak ve daha iyi sonuçlar alabilmek amacı ile flokülant kullanımı zorunlu bir hale gelmektedir.

CCD sistemi liçleme işlemi sonrasında hem yüklü solüsyonu katı fazdan ayırmak hem de katı taneler üzerinde kalan liçli malzemeyi yıkayarak kayıpların mümkün olduğunca önlenmesine yönelik bir sistem olup birbirine seri bağlı tikinerlerden oluşmaktadır. Yüklü solüsyonun yıkanarak en az kayıpla elde edilebilmesi açısından bakıldığında bu prosesteki katı sıvı ayrımı ve yıkama verimi büyük önem arz etmektedir. Bu sebeple flokülant seçimi de önemli bir kriter haline gelmektedir. Bu tez çalışmasında iki farklı lateritik nikel cevheri ile farklı özelliklere sahip flokülantlar kullanılarak çökeltme testleri yapılmış ve performans

kriterlerine göre en iyi şartları sağlayan flokülant belirlenerek CCD prosesindeki çökme davranımları incelenmiştir.

## 2. GENEL BİLGİLER

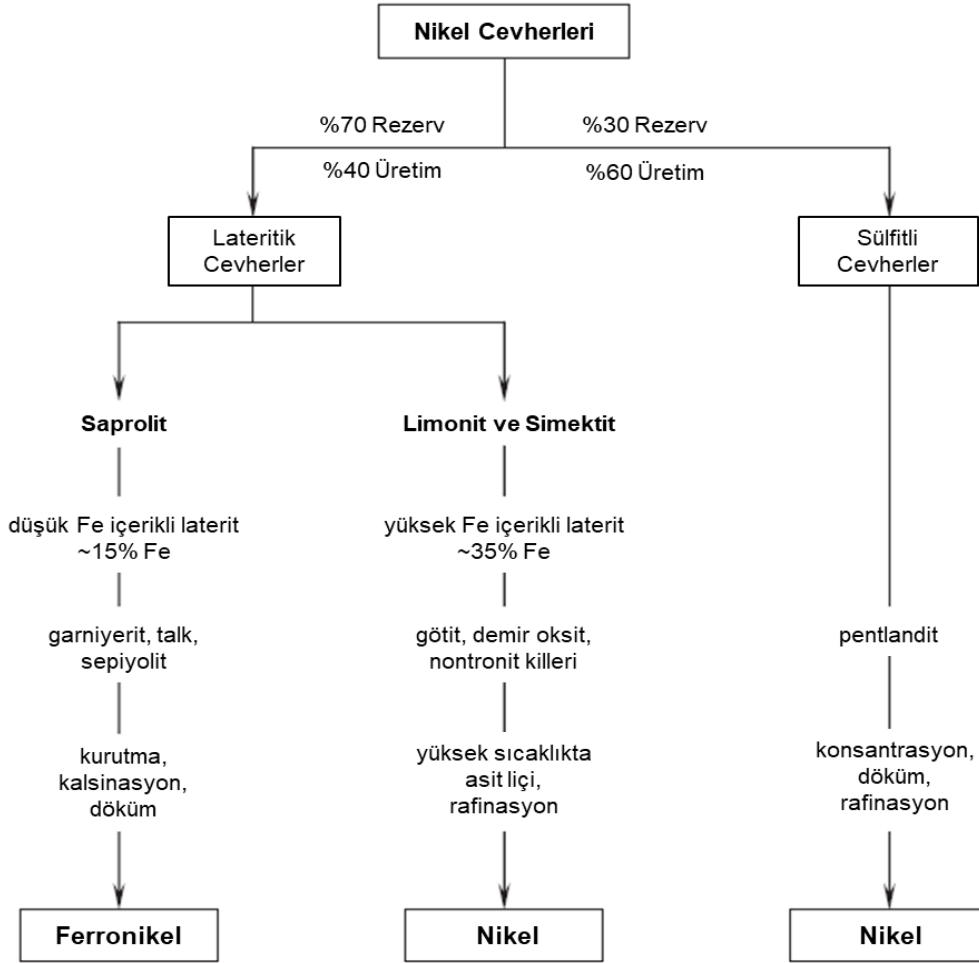
### 2.1. Nikel

Nikel yeryüzünde yer alan elementler arasında miktarı bakımından yirmi dördüncü sırada yer alır ve yer kabuğunun %0,008 kadarını oluşturur. Nikel; bakır, çinko ve kurşundan daha çok bulunmasına rağmen ticari önemi olan nispeten az sayıda nikel cevheri vardır [1]. Diğer ağır demir dışı metallere kıyasla, nikel çok daha güçlü, sert, refrakter ve korozyona dayanıklıdır. Doğal olarak oluşan, parlak, gümüş-beyaz metalik bir elementtir. Demir ve kobalta benzer şekilde ferromanyetik olup nispeten pahalıdır ve saf bir metal olarak tüketimi düşüktür [2]. Nikel elementinin özellikleri Çizelge 2.1'deki gibidir [3];

Çizelge 2.1. Nikel elementinin özellikleri

Kimyasal Sembolü	Ni
Atom Numarası	28
Atom Ağırlığı	58,69
Erime Noktası	1453°C
Kaynama Noktası	2730°C
Yoğunluk	8,90 g/cm <sup>3</sup> (25°C)

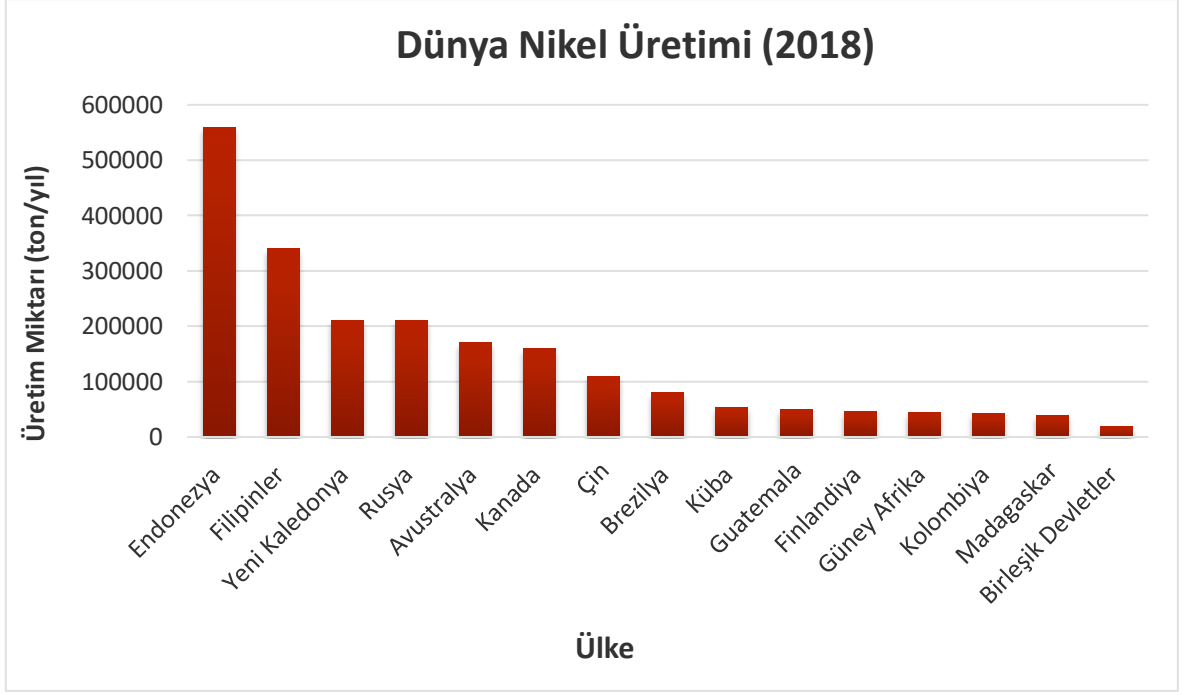
Nikel; oksit, sülfür ya da silikat olarak meydana gelir. Nikel lateritler ve sülfidler olmak üzere iki tür cevher yatağından elde edilir. Cevher rezervinin %70 dolayındaki miktarı laterit yataklarında bulunsa da yalnızca %40 oranında nikel üretimi lateritik rezervler üzerinden yapılmaktadır. Lateritik cevherler saprolit, smektit ve limonit tabakalarından meydana gelirler. Farklı oluşumları ve mineralojileri sebebi ile üretimi için farklı yöntemler bulunmaktadır. Lateritik ve Sülfidli cevher yataklarından nikel ve ferronikel elde edilmesi Şekil 2.1'de özetlenmiştir [5];



Şekil 2.1. Lateritik ve Sülfidli cevher yataklarından Nikel ve Ferronikel eldesi

## 2.2. Türkiye ve Dünya’da Nikel Üretimi

Nikel madenciliği, son 30 yılda önemli ölçüde yükselişe geçmesine rağmen, belirlenen nikel rezervleri ve kaynakları da sürekli olarak artmaya devam etmiştir. Üretime katkı sağlayan yöntemler için gelişen teknoloji, üretim kapasitelerini arttırdığı gibi, düşük tenörlü cevherlerin de işlenmesine olanak sağlamıştır. Nikelin yaklaşık 25 ülkede madenciliği ve/veya döküm işlemi yapılmaktadır [4]. En önemli üretici ülkeler Rusya, Kanada, Yeni Kaledonya, Filipinler, Avustralya, Endonezya ve Küba’dır [5]. Şekil 2.2’de Nikel üretimi yapan ülkelerin üretim miktarları gösterilmektedir [6];



Şekil 2.2. 2018 yılı dünya nikel üretim dağılımı

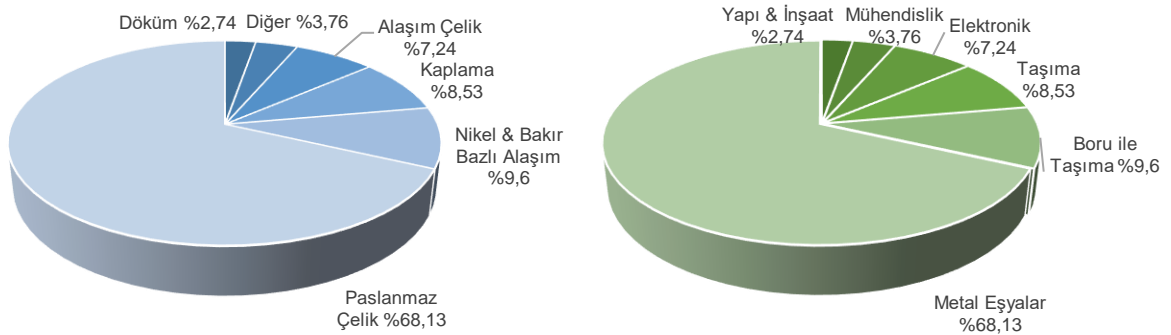
Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nün (MTA) arama faaliyetlerine başladığı yıllardan itibaren, metalik madenlere paralel olarak nikel arama çalışmaları da sürdürülmüştür. Çalışmalar kapsamında bulunan rezervlerin en önemlisi, Manisa-Turgutlu-Çaldağ'da yer almaktadır. Çaldağ dışındaki lateritik yataklar; Manisa-Gördes, Uşak-Banaz, Bolu-Mudurnu-Akçaalan, Eskişehir-Mihalıççık-Karaçam ve Uşak-Banaz Murat Dağı'nda bulunmaktadır. Bitlis-Pancarlı, Bursa-Orhaneli-Yapköydere, Sivas-Divriği-Güneş ve Hatay-Payas-Dört Yol ise sülfürlü yataklardır. Türkiye'nin bilinen nikel rezervleri toplamı yaklaşık 40 milyon ton olup, bunun 33,3 milyonu kadarı Manisa-Turgutlu-Çaldağ yatağındadır. Tenörü %0,93-%1,95 arasında değişen yatağın ortalama tenörü %1,137 ve nikel metali içeriği ise yaklaşık 378.000 tondur. Açık ocak madenciliğine uygun bu sahada, tenörü %0,042 -0,060 aralığında değişen, ortalama % 0,05 kobalt da bulunmaktadır [7].

Türkiye'de nikel metalinin üretimi yapılmamakta ve nikel ihtiyacı ithalat ile karşılanmaktadır. 2014 yılında Manisa'nın Turgutlu ilçesinde Türkiye'nin en yüksek nikel rezervine sahip olan Çaldağ bölgesine deneme üretimi amaçlı pilot tesisi kurulmuş fakat ÇED raporunun iptal edilmesi sonucu üretim faaliyetlerine geçememiştir. Aynı şekilde Manisa'nın Gördes ilçesinde lateritik nikel cevherlerini

değerlendirmek amacıyla kurulan üretim tesisinde, sülfürik asit ile yüksek basınçlı asit liçi (HPAL) yöntemi kullanılarak nikel hidroksit ve kobalt hidroksit içerikli MHP (Mixed Hydroxide Precipitate) ara ürünü elde edilmektedir.

### 2.3. Nikelin Kullanım Alanları

Nikel kullanımı son 30 yılda birincil olarak paslanmaz çelik endüstrisi üzerine yoğunlaşmıştır. Nikel içeren malzemeler günlük yaşantı içerisinde önemli bir rol oynamaktadır. Gıda hazırlama ekipmanları, cep telefonları, tıbbi cihazlar, ulaşım, yapı, elektrik üretimi gibi alanlarda kullanımı yaygındır. Diğer malzemeler ile karşılaştırıldığında daha iyi korozyon direnci, dayanıklılık, yüksek ve düşük sıcaklıklarda daha iyi direnç ve bir dizi özel manyetik ve elektronik özellikler sundukları için tercih edilirler. Nikel, elektronik, elektrikli el aletleri, nakliye ve acil durum güç kaynağında kullanılan şarj edilebilir pil sisteminin önemli bir parçasıdır. Buna bağlı olarak bugünün en önemli kaynağının ise nikel-metal hidrür olduğu söylenebilir. (NiMH). Nikel metalinin kullanım alanlarının yüzde dağılımını gösteren grafik Şekil 2.3'te sunulmaktadır; [8].



Şekil 2.3. Nikel kullanım alanları

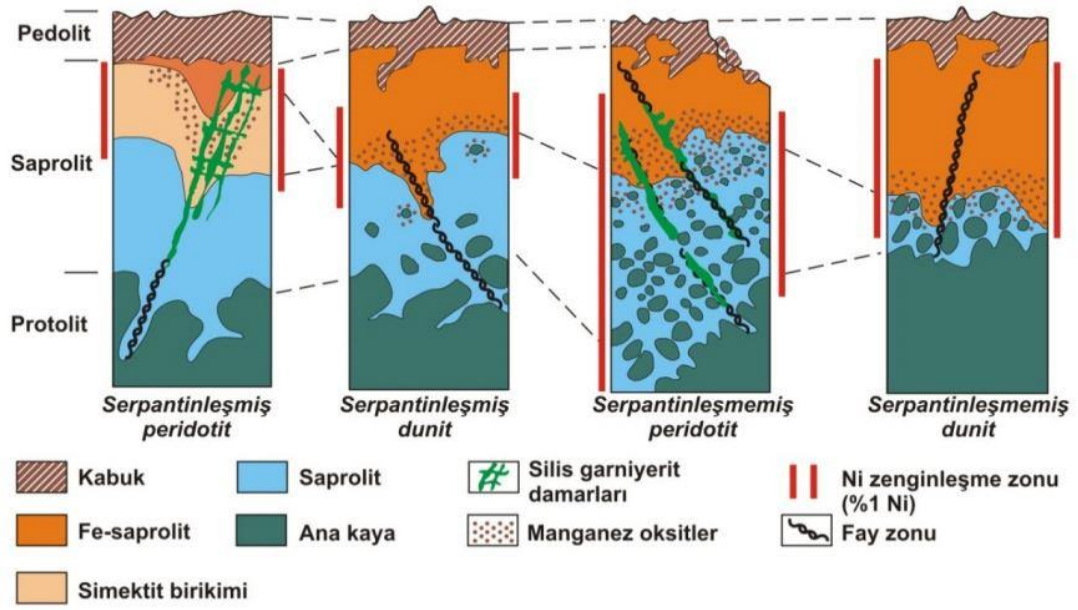
### 2.4. Lateritik Cevherler

Magmatik kökenli kayaçların aşırı yağış ve sıcaklık değişimleri sonucu doğal yollar ile ayrışarak lateritik kayaçlar meydana gelmiştir. Bu jeolojik süreç tropik ve/veya subtropik iklim koşulları altında gerçekleşen uzun bir süreçtir. Lateritleşme olayı madencilik teknolojisi açısından irdelendiğinde, yerinde ve doğal bir liç süreci olarak da tanımlanabilir [7].

Lateritik cevherler tipik olarak kaolinitik kil ile demir ve alüminyum oksit / oksihidroksit içeriğince zengindir. Lateritler; Ni, Mn, Au Cu ve PGM gibi diğer metallerin önemli konsantrasyonlarını da içerebilirler [9]. Aynı zamanda Al, Fe, Ni ve Au oluşumları bakımından zengin lateritik yataklar, 50 yılı aşan bir süredir global maden kaynağında önemli bir rol oynamaktadır. 1970'lerden sonraki çalışmalar, daha sonra Ni-lateritler üzerine yoğunlaşmıştır [10].

## **2.5. Lateritik Nikel Cevherleri**

Nikel lateritleri, Prekambriyen'den Tersiyer'e kadar uzanan ve çeşitli jeolojik ortamlarla ilişkili olan ferro-magnezyum mineralleri (olivin, piroksen, amfibol) içeren ultramafik kayaların geçmişte ya da mevcut dönemde uzun süreli tropikal hava koşullarına maruz kaldığı bölgelerde meydana gelir. Bahsedilen ultramafik kayalar arasında dunit (esas olarak monomineralik olivin), peridotit (olivin, piroksen ve hornblend), piroksenit (ortopiroksen veya klinopiroksen), hornblendit (monomineralik hornblend) ve serpantinit yer almaktadır. Serpantin, 200°C ile yaklaşık 500°C arasındaki sıcaklıklarda ve suyun mevcut olduğu koşullarda olivin hidrotermal alterasyonunun en yaygın ürünüdür. Serpantinizasyon prosesi, kayda değer bir hacim değişikliği olmaksızın çok miktarda magnezya ve daha az miktarda silikanın uzaklaşması ile gerçekleşir. Bu proses sırasında nikelin bir kısmı çözelti içinde hareketlidir; bir miktarı serpantin içinde kalır ya da serpantinizasyonun ortak ürünü olan manyetit ile birleşir. Serpantin varlığı ya da yokluğunun ayrışma profili üzerine ciddi bir etkisi vardır [11]. Nikel laterit profilleri Şekil 2.4'teki gibidir [10];



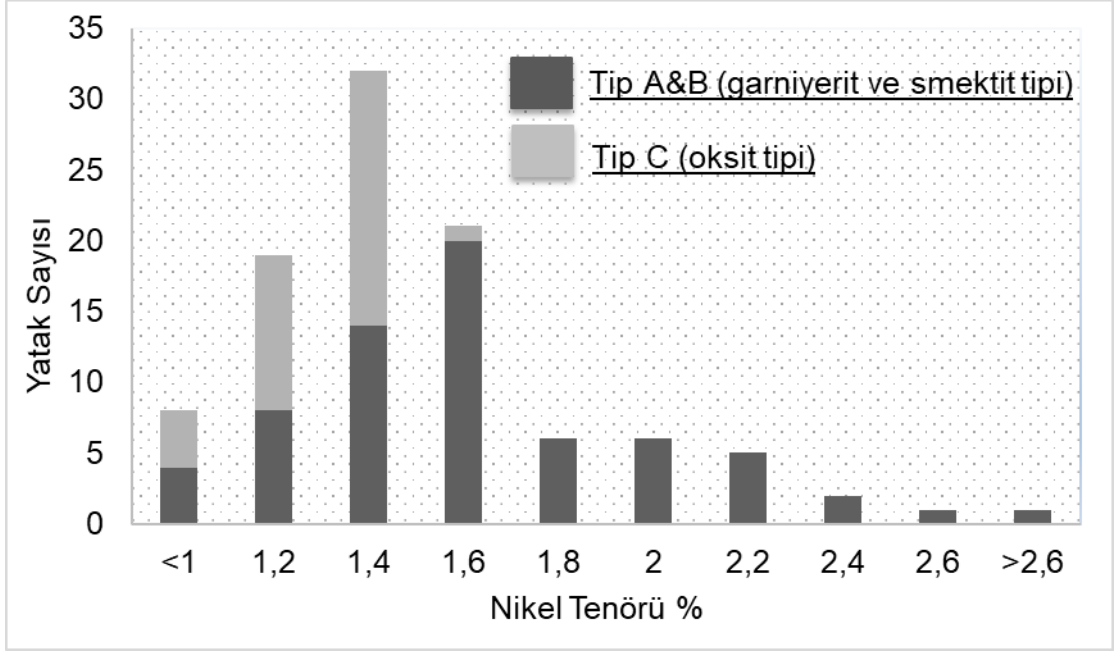
Şekil 2.4. Ni laterit profilleri ve cevher tiplerinin dağılımı

Nikel lateritleri için ana kayacın alterasyonu, iklim, drenaj, jeomorfolojik tarih ve kompozisyon gibi özelliklere dayanan sınıflandırmalar mevcuttur. Aynı zamanda nikel konağının mineralojisine dayanan gruplandırmalar da bulunmaktadır ve;

- Tip A: Genellikle saprolit içerisinde ve hidratlı Mg-Ni silikatların (örn. garniyerit) hakim olduğu silikatlı Ni yatakları,
- Tip B: Genellikle saprolit ve pedolit üstünde, smektitik killerin (örn. nontronit) hakim olduğu silikatlı Ni yatakları,
- Tip C: Pedolit ve saprolit sınırında bir tabaka oluşturan, Fe oksihidroksitlerin (örn. götit) egemen olduğu oksitli yataklar olarak sıralanabilir.

Dünya genelindeki lateritik nikel yataklarının %80'ini A tipi oluşturmaktadır. Bununla birlikte Ni yatakları yaygın olarak değişken oranlarda silikat ve oksit cevheri içermektedir. Muhtemelen hava koşulları sebebi ile meydana gelen aşınmanın geç evrelerinde oluşan Co ve Ni ile zenginleştirilmiş mangan oksitler, her bir yatak tipinde bulunur ancak toplam nikelin sadece küçük bir kısmını oluşturmaktadır [12]. Lateritik nikel yataklarının nikel tenörü dağılımını gösteren grafik Şekil 2.5'te sunulmaktadır [12];





Şekil 2.5. Lateritik nikel yataklarının nikel tenörü dağılımı

Ni lateritlerinin oluşumu ve dağılımı, iklim, jeomorfoloji, drenaj, litoloji ve zamanla küresel, bölgesel ve yerel ölçekler üzerinde etkili olan yapı gibi faktörlerin birleşik etkilerine bağlıdır. Ni lateritlerinin oluşumuna hiçbir zaman tek faktör hakim değildir, ancak dinamik bir sistemde bir araya geldiklerinde, herhangi bir yatağın özelliklerini kontrol eden gelişim süreçleri ve oranları üzerinde büyük bir etki yaratabilir. Bir bölgedeki Ni lateritlerinin gelişimini etkileyen faktörler başka yerlerde daha az önemli olabilir [12].

## 2.6. Lateritik Nikel Cevherlerinin Zenginleştirilmesi

Lateritik yatakların baskın mineral içeriği ve Nikel tenör miktarı zenginleştirme yöntemini belirlemektedir;

- Limonit, Asbolit (%1 - 7 Ni, %0,1 - 0,2 Co): Basınçlı asit liçi ve Caron prosesi için uygundur.
- Nontronit (%1-5 Ni, %0,05 - 0,1 Co): Basınçlı asit liçi ve ergitme için uygundur.
- Serpantin (%1.5 - 10 Ni, %0.05 - 0.1 Co): Tipik bileşim %1 - 2 Ni ve %0.05 - 0.07 Co arasındadır. Pirometalurjik işlemler için uygundur.
- Garniyerit (%10 - 20 Ni,%0.05 - 0.1 Co): Tipik bileşim %2 - 3 Ni ve %0.05 - 0.1 Co arasındadır. Pirometalurjik prosesler için uygundur [12].

Lateritik cevherlerden Nikel kazanımı, magnezyum içeriği ve nikel/demir oranına bağlı olarak, hidrometalurjik, pirometalurjik ve hidrometalurjik-pirometalurjik yöntemlerin birlikte uygulanması olmak üzere üç farklı yöntemle gerçekleştirilmektedir.

Pirometalurjik yöntemler, genellikle düşük demir/nikel oranlı ve düşük nem içerikli cevherler için tercih edilen yöntemlerdendir. Elektrikli fırınlarda, nikel demirle birlikte indirgenerek ferro-nikel alaşımı ya da kükürt ilavesi sonucu nikel matı elde edilir. Bu yöntem dahilinde döner fırın içerisinde kurutma, kalsinasyon, önindirgeme (kömür ya da kok ile) ve ark fırınında ergitme işlemleri uygulanır. Ayrıca, üretilen alaşıma kükürt ve fosfor gibi elementlerden arıtma uygulanabilir. Elde edilen ferro-nikel ürünün nikel içeriği %20 ile %50 arasında değişmektedir. Bu yöntemde, cürufun ergime noktasını kontrol edebilmek için cevher şarjının demir, magnezyum ve silika içeriğinin belli oranlarda sabit tutulması çok önemlidir. Bu yöntem, genel olarak düşük nikel içerikli ve demir içeriği %25'den yüksek cevherler için kullanılmamaktadır [7]. Pirometalurjik yöntemler için uygun olmayan mineral içeriğinde olan diğer lateritik cevherler için Caron Prosesi, Yüksek Basıncılı Asit Liçi (HPAL) ve Atmosferik liç gibi yöntemler uygulanmaktadır.

### **2.6.1. Caron Prosesi**

Caron yönteminde cevher beslemesi limonitik (Demir bakımından zengin Oksitler / Hidroksitler) ve saprolitik (Mg-Fe Silikatlar) Nikel lateritlerinin bir karışımıdır. Caron prosesi cevherlerin 700-800 °C arasındaki sıcaklıklarda indirgeme işlemini ve aerobik koşullar altında amonyak çözültisi ile liç yapılmasını içerir. Nikel ve kobalt verimlerini arttırabilmek amacıyla proste değişiklikler yapılmış olup günümüzde orijinal Caron prosesinin birçok varyasyonu bulunmaktadır [13].

### **2.6.2. Yüksek Basıncılı Asit Liçi**

Yüksek basınçlı asit liçi prosesi genellikle limonit ya da nontronit türü cevherlere uygulanır. Liçleme işlemi öncesinde cevher belli bir tane boyutu ve yoğunluk ile pulp haline getirilir ve kademeli olarak ısıtma işlemine tabi tutulur. Ardından titanyum otoklav içerisinde yüksek basınç (3800-5400 kPa) ve sıcaklık (225-270°C) altında sülfürik asit ile liç işlemi uygulanır. Liçleme süresinin kısa olması

(60-90 dk) ve metal kazanımının yüksek verim ile gerçekleşmesi sebebi ile avantajlı bir prosestir. Liç sonrası yüklü solüsyona uygulanan prosesler çeşitlilik göstermektedir.

Nikel ve kobalt ile yüklü olan solüsyon, yıkama ve nötralizasyon proseslerinden geçirilerek içeriğinde bulunan safsızlıklardan (Fe, Al, Cr vb.) arındırılır. Zengin solüsyon içerisindeki Ni ve Co katı fazda  $Ni(OH)_2$  ve  $Co(OH)_2$  formunda çöktürülür. Proses sonucunda MHP (Mixed Hydroxide Precipitate) ürünü meydana gelir.

MSP (Mixed Sulfide Precipitate) prosesinde yıkama sonrası indirgeme için  $H_2S$  kullanılır. Bu aşamada Cu seçimli olarak çöktürülürken,  $Fe^{+3}$ ,  $Fe^{+2}$ 'ye ve  $Cr^{+6}$ ,  $Cr^{+3}$ 'e indirgenir [14]. Nötralizasyon aşamasından sonra ise nikel ve kobalt sülfid formunda katı faza geçirilerek MSP konsantresi elde edilir.

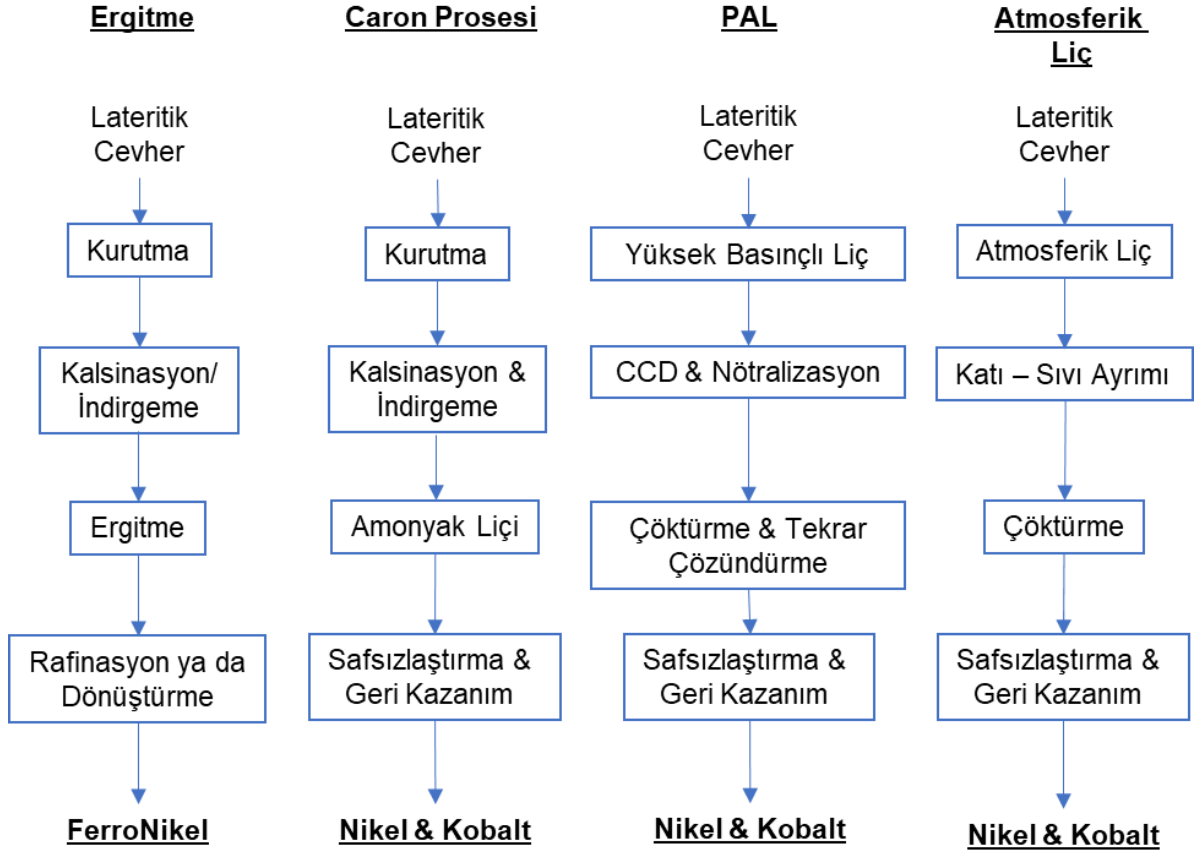
Nikel ve kobaltı birbirinden ayırmak için ise farklı hidrometalurjik prosesler uygulanmaktadır.

### **2.6.3. Atmosferik Liç**

Bu yöntemde, ince tane boyutuna öğütülen cevher tank içerisinde karıştırılarak sülfürik asit ile liç işlemi uygulanır. Elde edilen çözeltiden önce safsızlıklar uzaklaştırılır, çöktürme ile de nikel kazanımı sağlanır. Yığın liçi yönteminde ise kırma işleminden geçen cevher kil ve jeomembrandan oluşan geçirimsiz tabakanın üzerine yığılır. Yığın üzerine damlama yöntemi ile asit beslemesi yapılarak nikel çözeltiye alınır. Nikel ile birlikte çözeltide bulunan demir, alüminyum ve krom gibi metaller çözeltiden uzaklaştırılarak nikel eldesi sağlanmış olur [7].

Lateritik Nikel cevherlerine uygulanan proses yöntemleri Şekil 2.6'da özetlenmiştir [15];

## Laterit Prosesleri



Şekil 2.6. Lateritik cevherlerden nikel üretim yöntemleri

### 2.7. Manisa-Gördes Genel Jeolojisi

Cevher sahası İzmir-Ankara ofiyolit zonu ile Menderes masifi arasında yer alır. Kıtasal temelin yüzeylenimi olan Menderes masifinin örtü şistleri üst düzeylerinde metabazik ve metaultrabazik kayalardan oluşan okyanusal birimin üst seviyesinde kristalize kireçtaşı görülür. Bölgede metamofitler üzerine açılal uyumsuzlukla gelen Triyasen tabanında bulunan metamorfik çakıllı kırıntılılar üstte karbonatlara geçerler. Bu kireçtaşları üzerine uyumlu olarak gelen ve dönemsel aralanma gösteren kırıntılılar alt düzeylerde asit volkanik kayaç katkıları ve metamorfik çakıllı içerirler.

Ofiyolitik karmaşık okyanusal çökelleri ile bazik volkanik ve ultramafik kayalardan oluşur. Birim grovak, tüfit, çörtlü kireçtaşı, çört ve radyolarit aralanması ile başlar. Bazaltik lav ara katmanları içeren grovaklar Akhisar-Gördes yolu boyunca gabro ve diyabaz daykları ile kesilmiştir.

Okyanusal çökeller kıvrımlı ve ekaylı bir yapı kazanarak itki dilimlerine dönüşmüş ve şelf alanında çökelen kireçtaşı üzerine sürüklenmiştir. Ofiyolitik kayaların bu hareketi, okyanus ile şelf arasında çökelmiş olan birimi etkilemiş, itki dilimlerine katılan bu kayalar da Menderes masifinin KB kesimini oluşturan inceleme alanındaki otokton birimler üzerine itilmiştir. Bu itilmeler ofiyolit bindirmesi olarak tanımlanabilir. Ofiyolit zonu kapanmaya başlarken ofiyolitler üzerinde uyumsuz olarak kırıntılılar ve kireçtaşı izlenir, üzerine uyumlu olarak çakıltaşı-kumtaşı ardalanması gelir.

Peridotitler, Ultramafit yüzeylemelerinin orta kesimlerinde kırıklarla parçalanmış bloksu kütleler halindedir. Bunlar serpantinleşmiş bir kabukla kuşatılmıştır. Peridotitlerden sonra harzburgit en yaygın kayadır. Çatlaklardaki olivinler kısmen serpantinleşmiştir. Dunit serpantin kabukları ile harzburgitten ayrılır. Serpantinit, inceleme alanında yayılımı en çok olan ultramafittir. Serpantinitler peridotitlerle sıkı ilişkilidir. Serpantinleşme peridotitlerdeki deformasyonla artış gösterir. Tektonik hatlarda serpantinler ezilmiş, ufalanmış, ileri derecede gelişen kayma düzlemleri sonucu yapraklanmıştır [16].

## **2.8. Eskişehir-Mihalıççık-Karaçam Genel Jeolojisi**

Sivrihisar kuzeyi ile Karaçam arasında izlenen mikaşist ve mermerlerin üzerine metabazit, metaçört, mermer ve metamorfizmaya uğramış serpantinitten oluşan bir birim gelir. Birimin hakim kaya türü olan metabazitler; deniz altı lavları piroklastik kayalar ve tüflerden oluşur. Bu kayaların ilksel özellikleri kaybolmuş, metamorfit doku ve mineral parajenezleri kayaya hakim olmuştur. Tavşanlı zonunun doğu kesiminde özellikle Sivrihisar kuzeyindeki istif mermer ve mikaşist ardalanması ile temsil edilir. Bu metasedimanter kayaların kalınlığı kilometre olarak belirtilmiştir. Mikaşistler arasında izlenen mermerlerin kalınlıkları birkaç metreden yüzlerce metreye değişen seviyeler halinde bulunur. Birim içinde mikaşist-mermer oranı yaklaşık yarı yarıyadır. Mikaşist-mermer dışında çok seyrek olarak metabazit seviyeleri de mikaşistler içinde yer alır [17]. Mermerler üzerine bindirme dokanağı ile gelen ofiyolitik kayaların büyük bir kesimi peridotitlerden oluşur. Peridotitlere az oranda gabro ve piroksenit gibi kayalar eşlik eder. Ofiyolitik kayalar tektonik istifin en üst üyesini oluşturur.

Ofiyolitli melanji oluşturan bazalt, çört, pelajik kireçtaşı ve şeyl gibi kayalar, düşük sıcaklıklarda bir başlangıç mavişist metamorfizması geçirmiştir. Ofiyolitik kayalar İzmir-Ankara-Erzincan kenet zonuna aittir. Sakarya zonuna ait Karakaya kompleksi şiddetli deforme olmuş kısmen metamorfizma geçirmiş, metabazit, fillat, mermer ile piroklastik kayalar, şeyl ve kireçtaşı, üst kesimde klastik, volkano-klastik ve volkanik kayalar ile neritik kireçtaşı blokları yer alır. Üst Jura-Alt Kretase denizel kireçtaşı ile temsil edilir. Kireçtaşları sıg denizel neritik kireçtaşıdır [18].

Karaçam (Mihalıççık-Eskişehir) yöresinde yüzeyleyen ve Fe-Ni-Co mineralleri içeren ofiyolitik kayalar Porsuk Çayı boyunca KB-GD yönünde uzanır. Karaçam, Dümrek ve Dumluca köyleri dolayında silisli lateritik zonlar ile ayrışmış serpantinitler izlenmektedir [19]. İmikler (Beylikova-Eskişehir), Süleymaniye (Beylikova-Eskişehir), Dumluca (Sivrihisar-Eskişehir), Karaçam köyü (Mihalıççık-Eskişehir) arasında kalan bölgede ayrışmış serpantinitler içerisinde oluşan 1-50 m kalınlığında lateritik cevherleşmeler 50 km<sup>2</sup>'lik bir alanda izlenmektedir [20]. Yunusemre (Mihalıççık-Eskişehir), Karaçam, Dumluca köyleri dolaylarında geniş alanlarda yüzeyleyen, yer yer serpantinleşmiş ultrabazik kayaların ayrışma ürünü olan lateritik kuşaklar alttan üste doğru şu zonlardan oluşur;

- a) Serpantinit
- b) Ayrışmış serpantinit
- c) Limonitli, götitli, hematitli zon
- d) Silisli kabuk

Çalışma alanında, lateritler sarıdan kırmızı-kahverengiye değışen, limoritli, hematitli, götitli ve killi seviyelerden oluşmuştur. Bu seviyelerin üzerinde, kompakt ve breşik özellikli, koruyucu görevi yapan silisli kabuk bulunmaktadır [19].

## 2.9. Katı – Sıvı Ayrımı

Katı sıvı ayrımı, cevher hazırlama proseslerinin nihai bir aşamasıdır ve iki fazın, bir süspansiyondan katı ve sıvı olarak ayrılması olarak tanımlanabilir. Bu işlemin gerçekleştirilmesi için kullanılan teknoloji genellikle "mekanik ayırma" olarak adlandırılır, çünkü ayırma tamamen fiziksel yollarla gerçekleştirilir. Katı sıvı ayrımının amacı proses içeriğine göre değişebilmektedir. Bunlar;

- Değerli mineral içeren katıların geri kazanılması,
- Sıvıların geri kazanılması ve temizlenmesi,
- Katı ve sıvı fazı geri dönüştürmeden ve yeniden kullanımını sağlamadan önce birbirinden ayrılması,
- Çevresel nedenler sebebi ile her iki fazı ya da bir tanesini bertaraf etmeden önce birbirinden ayrılması,

olarak sıralanabilir [21].

Katı - sıvı ayrımı temel olarak üç farklı yol kullanılarak gerçekleştirilmektedir;

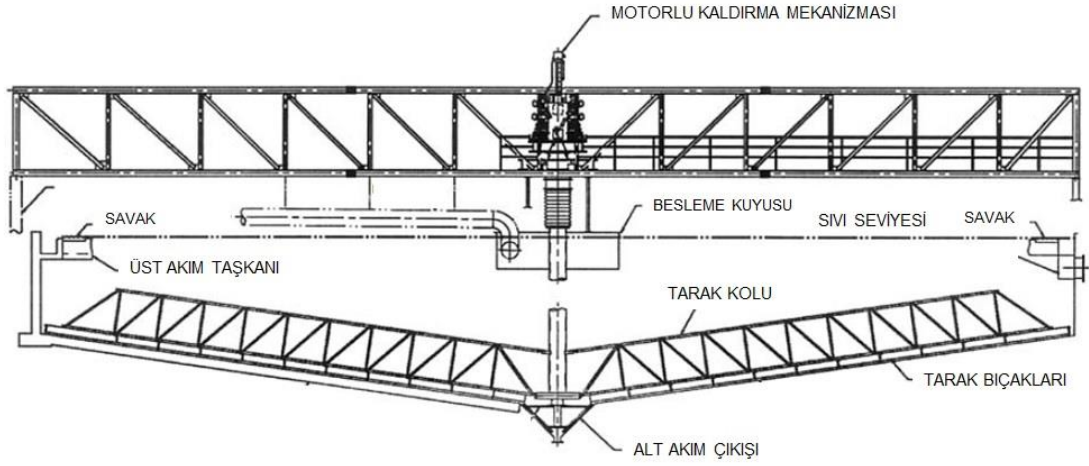
- Sedimentasyon
- Filtrasyon
- Termal kurutma

Proses dizaynına bağlı olarak bu üç işlemin kombinasyonu şeklinde de kullanımı mevcuttur [22].

## 2.10. Tikinerler

Tikinerler, sedimentasyon işlemi ile, pulp halindeki malzemenin yerçekimi ile katı ve sıvı olarak birbirinden ayrılmasını sağlayan ekipmanlardır. Buradaki koyulaştırma (thickening) işleminin temel amacı katı konsantrasyonunu arttırmaktır. Çökme işlemi sağlamak için genellikle flokülant adı verilen organik yapılı kimyasal kullanılmaktadır [23]. Tikiner içerisindeki çökme olayı Newton ve Stokes yasalarına tabidir.

Tikinerler pulp içerikli besleme tankı, besleme hattı, besleme kuyusu (feedwell), tarak mekanizması, üst akış taşkanı, alt akım çekme sistemi gibi birkaç temel elemana sahiptir. Şekil 2.7.'de tikinerlerin temel yapısı gösterilmektedir;

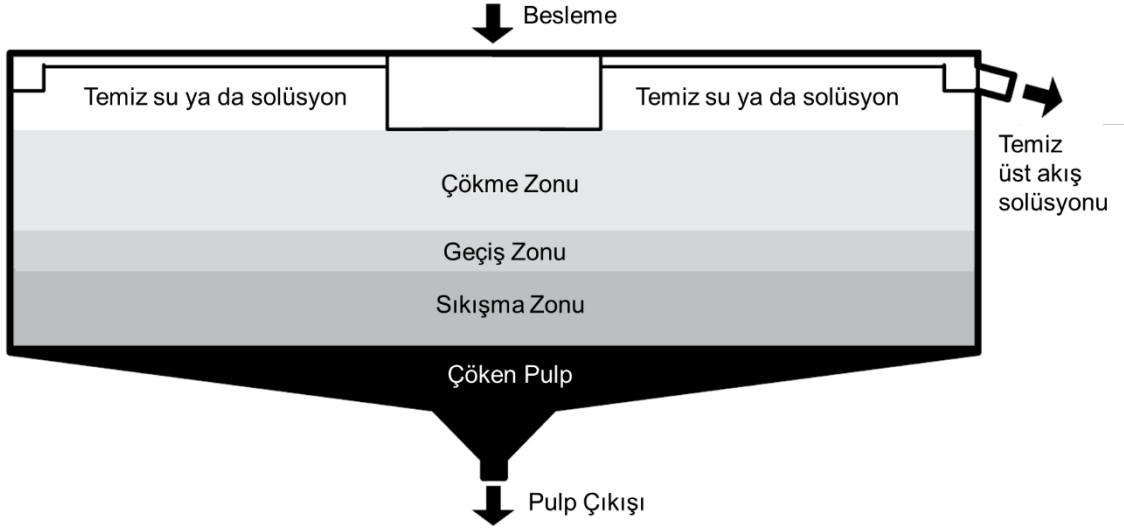


Şekil 2.7. Genel tikiner tasarımı

Flokülant ile muamele edilen tikiner besleme çamuru, tikiner içerisine yavaşça dağılabilmesi için merkezinde yer alan besleme kuyusuna girer. Besleme malzemesi tikiner içerisinde çevresinde bulunan ve kendi yoğunluğuna eş malzemenin yüksekliğine ulaşana dek çöker ve bu seviyede yayılır. Katı konsantrasyonu aşağı yönde artar ve bu durum koyulaştırma işlemine stabilite kazandırır. Tikiner üst akım malzemesi bir taşkanda toplanır. Tarak mekanizması ise merkez kolon etrafında yavaşça kendi etrafında dönerek, tikinerin sıkışma bölgesindeki yoğun katı kütlesini dağıtır ve tikiner alt akımından çıkış yapmasına yardımcı olur.

Proses süresince tikiner içerisinde temiz zon, çökme zonu, geçiş zonu ve sıkışma zonu olmak üzere 4 farklı çökme rejimi tabakası bulunabilir [24]. Şekil 2.8.'de gösterildiği gibidir [25];





Şekil 2.8. Tikiner içerisinde oluşan zonlaşmanın şematik görünümü

### 2.10.1. Tikiner Çeşitleri

Genel anlamda 4 çeşit tikiner çeşidi bulunmaktadır. Bunlar;

- Konvansiyonel Tikinerler
- Yüksek Hızlı (Kapasiteli) Tikinerler
- Yüksek Yoğunluklu Tikinerler
- Macun Tikinerleri olarak sıralanabilir.

#### 2.10.1.1. Konvansiyonel Tikinerler

Konvansiyonel tikinerler genellikle ağır hizmet uygulamalarında, alt akım yoğunluğunun yüksek olduğu durumlarda ve tikiner alt akımında bulunan yoğun katı miktarının tikiner çevresinden merkez alt akım çıkışına pompa vasıtası ile transferi için yüksek torklar gerektiğinde tercih edilmektedir. Konvansiyonel tikinerler tahrik mekanizmalarına göre merkezi ve çevresel olarak ayrı sınıflandırılmakta; merkezi tahrik ünitesine sahip olan tikinerler ise köprü tipi ve kolon tipi olarak ikiye ayrılmaktadır [26]. Konvansiyonel tikinerlerin besleme haznesi tikinerin en üst kısmında bulunur. Besleme haznesindeki malzeme tikiner üst akım malzemesi ile seyrelir ve sabit hızda çöker [28]. Tikiner boyutları 2-200 m çapında ve derinliği 1-7 m arasında olabilmektedir [23].

### **2.10.1.2. Yüksek Hızlı (Kapasiteli) Tikinerler**

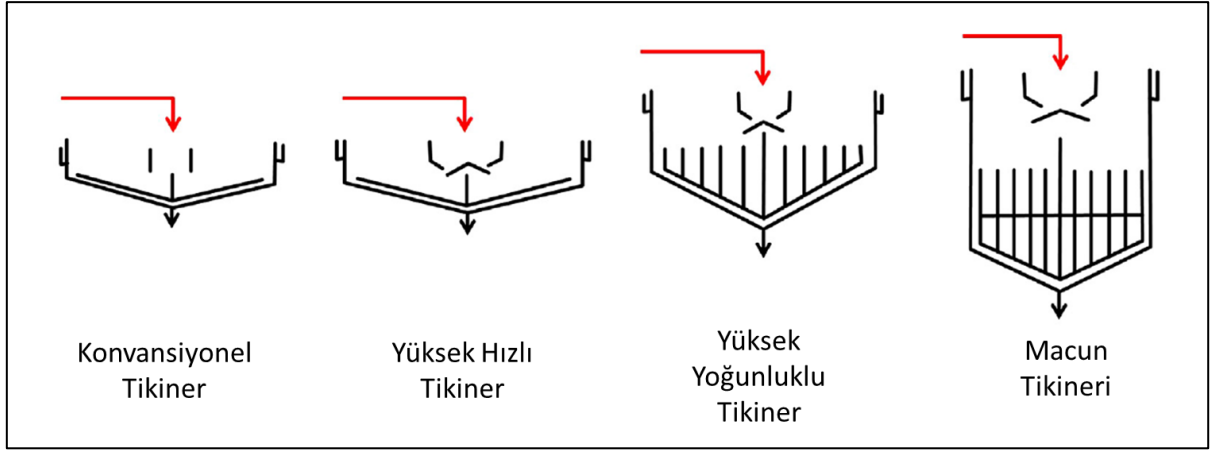
Yüksek verim elde edebilmek adına flokülantın etkin bir şekilde kullanıldığı prosesler için yüksek hızlı tikinerler tercih edilmektedir [27]. Bu tür tikinerler besleme malzemesini direkt olarak çöken malzeme üzerine ileten daha uzun besleme kolonlarına sahiptir. Besleme, yüksek yoğunluğa sahip çöken malzeme ile karıştırıldığında, kritik konsantrasyona eşit ya da yüksek bir konsantrasyona sahip bir malzeme meydana gelir. Bu nedenle bu tip tikinerlerde çökme zonu bulunmamaktadır. Yüksek kapasiteli tikinerlerin alt akımları genellikle besleme tankına geri döndürülür ve böylece ekipman kapasitesini arttıran daha yüksek yoğunluklu bir malzeme elde edilmiş olur [28]. Flokülant genellikle tikiner besleme hattına ya da kolonuna beslendiğinden dolayı, floklaşmanın optimize edilmesine yardımcı olmak amacı ile çok sayıda besleme kolonu (feedwell) dizaynı bulunmaktadır. Floklaşmış çamur içerisindeki hava sürüklenmesini (entrainment) önlemek için hava giderici sistemler de dahil edilebilir [29].

### **2.10.1.3. Yüksek Yoğunluklu Tikinerler**

Yüksek yoğunluklu tikinerler genel anlamda konvansiyonel ya da yüksek hızlı tikinerler ile benzer özelliklere sahiptir. Yalnızca konik kısımları daha dik ve derinlikleri daha fazladır. Bu sayede tikiner alt akımında yüksek basınç oluşur ve daha yoğun bir alt akım malzemesi meydana gelir [28].

### **2.10.1.4. Macun Tikinerleri**

Macun tikinerleri yüksek yoğunluklu tikinerlerden farklı olarak daha uzun ve ince bir yapıya sahiptir. Genellikle proses atıklarının ve benzeri malzemelerin geri dönüşümü ile, yer altı madenlerinde dolgu malzemesi hazırlama işlemlerinde kullanılır. Tikiner mekanizması, yüksek tork kabiliyetini sağlayacak şekilde özel bir tarak tasarımı gerektirir. Alt akım yoğunluğu yüksek hızlı ya da konvansiyonel tikinerlere göre çok daha yüksektir. Uzak mesefelere transferi için özel pompa gereksinimlerine ihtiyaç duyulabilir [27]. Bahsi geçen tikiner çeşitlerinin şematik görünümü Şekil 2.9'daki gibidir;



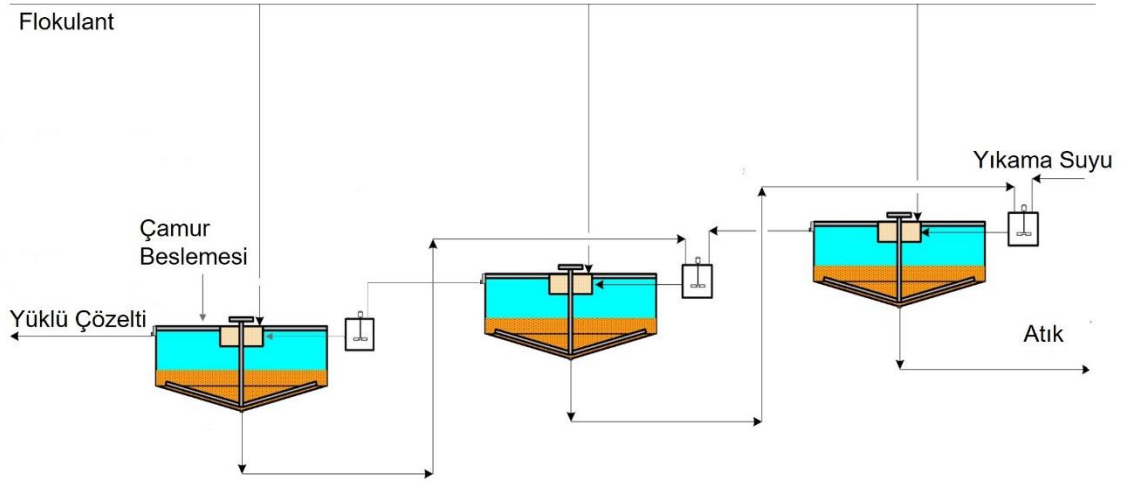
Şekil 2.9. Tikiner dizaynlarının şematik görünümü

### 2.11. Ters Akışlı Dekantasyon (Counter Current Decantation, CCD)

CCD devreleri genellikle liç prosesi sonrası yüklü solüsyonun değersiz olan malzemedan geri kazanımı prensibine dayalıdır. CCD operasyonunun temeli askıda katı maddenin konsantre haline getirerek alt akımdaki katı miktarının artırılması ve alt akımdaki metalce zengin solüsyonun en aza indirilmesidir [29]. Katı fazda yer alan malzeme tekrarlı olarak seyreltilerek ve yıkanarak yüklü solüsyondan arındırılır. Tikiner alt akış malzemesi bir sonraki yıkama basamağının beslemesini oluşturur. Üst akış ise bir önceki tikinerin besleme malzemesini seyreltmek amacıyla ters yönde ilerler. Yıkama aşamasının sayısı gereken ayırım miktarına, ilave edilen yıkama sıvısı miktarına ve elde edilecek katı konsantrasyonuna göre 2 ila 10 arasında değişmektedir. Yüksek yoğunluklu tikiner dizaynı kullanılarak yer çekimi ve sıkışmadan faydalanılmaktadır.

Yüklü solüsyonun değerli olduğu uygulamalarda (metal ekstraksiyonları) kullanılmasının yanı sıra, deniz suyundan magnezyum hidroksit elde edilmesi gibi saflaştırılmış katı malzemeye ihtiyaç duyulan, ya da her iki durumun geçerli olduğu kimyasal proses endüstrisinde ve baz metal hidrometalurjisi alanlarında kullanılmaktadır. CCD sistemini diğer ayırım proseslerine göre tercih edilebilecek bir seçenek haline getiren faktörler; flokülant ile çökme hızı yüksek olan katı malzeme, alt akım ve besleme arasında nispeten yüksek katı konsantrasyon oranı, katı kapasitesinin yüksek miktarda olması, başka yollarla ayırımın zor olduğu ince tane boyutunun varlığı, yüksek yıkama oranı gerektirmesi olarak sıralanabilir. Optimum seçim yapmak için ise teknik bir fizibilite ve ekonomik

çalışma yapılması gerekmektedir [27]. CCD devresi Şekil 2.10'da gösterilmektedir;



Şekil 2.10. CCD Sistemi

Başarılı bir CCD operasyonunun gerçekleşmesi;

- Besleme ve yıkama suyunun tam olarak karışması,
- Yıkanmış katıların her tikinde durgun şekilde çökmesi,
- Yeterli flokülant beslemesi gibi faktörlere bağlıdır [5].

## 2.12. Flokülasyon

Flokülasyon, pulp halinde ve çok ince tanelere sahip bir malzemeye eklendiğinde ince tanelerin topaklaşarak daha büyük bir kütle haline gelmesini sağlayarak yüksek hızda çökme işlemini gerçekleştirme işlemi olarak tanımlanmaktadır.

Flokülasyon genel olarak üç aşamada gerçekleşmektedir. Bunlar;

- Askıda kalan ince boyutlu tanelerin destabilizasyonu: Elektriksel yük kaynaklı meydana gelen itme kuvvetinin ortadan kaldırılması,
- Flok oluşumu ve büyümesi: Tanelerin çarpışarak birbirlerine bağlanması sonucu daha iri boyutta tanelerin meydana gelmesi,
- Flok bozulması: Süspansiyon içerisinde makaslama gerilimi, türbülans vb. nedenlerle, oluşan flokların mekanik kırılmaya uğraması, olarak sıralanabilir. [30].

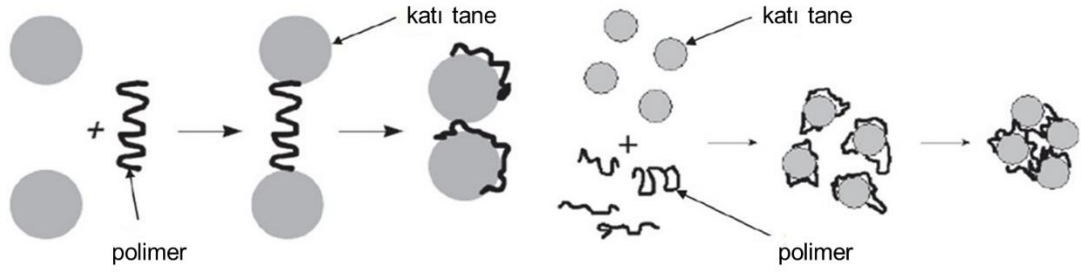
Flokülasyon, flokülant adı verilen organik yapıdaki polimerler ile gerçekleştirilir. Tipik olarak polimerik flokülantlar  $10^6$  Dalton veya daha büyük moleküler ağırlıklara sahip uzun zincirli moleküllerden oluşur. Bunlar doğal, sentetik veya türetilmiş hibrit organik ürünler olabilir. Büyük moleküler zincir uzunlukları nedeniyle, pek çok taneciği aynı anda bağlayabilirler. Elde edilen moleküler köprüleme etkisinin, flok içindeki bitişik parçacıkları bağlamak için ana mekanizma olduğuna inanılmaktadır. Polimerik flokülantları sınıflandırmanın birçok yolu vardır. Bu sınıflandırmalar, molekül ağırlığı, fonksiyonel grup, yük, kimyasal yapı veya köken gibi polimer özelliklerinden bir veya daha fazlasına dayanabilir. Örneğin polimerik flokülantlar doğal, sentetik veya her ikisinin türevleri olabilir; yüksek veya düşük moleküler ağırlık, katyonik, anyonik veya noniyonik; spesifik, şelatlayıcı veya spesifik olmayan gibi sayısız kimyasal yapı türlerine göre sınıflandırılabilirler [31].

### **2.12.1. Flokülasyon Mekanizması**

Flokülasyon solüsyon içerisinde süspansiyon haline getirilmiş katı taneler ve flokülasyon aktivitesi yüksek flokülantlar/polimerik maddeler arasında meydana gelen fizikokimyasal bir işlemdir. Bu iki bileşenin iki taraflı etkileşimleri floklaşmaya neden olan bağların oluşmasına ve sonuç olarak oluşan moleküllerin çökmesine neden olur. Hem doğal hem de sentetik flokülantlar ile meydana gelen flokülasyon mekanizmaları için; köprüleme, elektrostatik yama prosesi, yük nötralizasyonu gibi çeşitli mekanizmalar mevcuttur [32].

#### **2.12.1.1. Köprüleme Mekanizması**

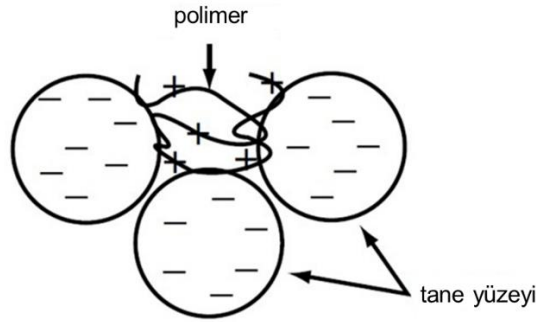
Bu mekanizma birbirinden ayrı polimer zincirlerinin eş zamanlı olarak farklı taneler üzerine adsorpsiyonunun bir sonucu olarak meydana gelir ve flok üzerindeki bitişik taneler arasında moleküler bir köprü oluşur. Bu durum aynı zamanda tane yüzeylerinde zayıf bir polimer yüzeyinin oluşmasına da olanak sağlar. Polimer adsorpsiyonu, polietilen oksit (PEO) gibi iyonik olmayan polimerler için hidrojen bağı ile sağlanır. Şekil 2.11'de köprüleme mekanizması gösterilmektedir [33];



Şekil 2.11. Flokülasyonda köprüleme mekanizması

### 2.12.1.2. Yük Nötralizasyonu

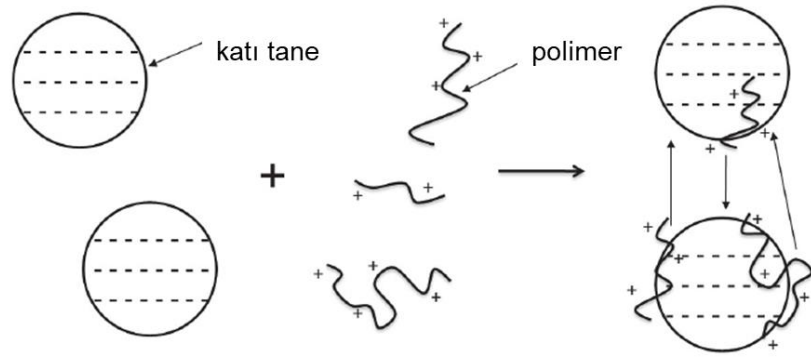
Yük nötralizasyonu, iyonik polimer fonksiyonlu gruplara zıt yükte olan tane yüzeylerinin mevcut olduğu durumda ana mekanizma haline gelmektedir (Şekil 2.12.).



Şekil 2.12. Negatif yüklü taneler ve katyonik bir polimer arasında yük nötralizasyonu ile flokülasyon mekanizmasının şematik gösterimi

### 2.12.1.3. Elektrostatik Yama Mekanizması

Tane yüzeyleri hareketsiz ve oldukça zayıf bir yüzey yoğunluğuna sahip; adsorbedici polimerin ise yüksek yük yoğunluğuna sahip olduğu durumlarda bu mekanizma devreye girmektedir. Bu durum içerisinde tane, elektriksel olarak tamamen nötr olsa bile, polimer zincirindeki her yüklü grubun yüklü bir yüzey alanına bitişik olması ve aşırı yük bölgelerinin gelişmesi fiziksel olarak mümkün değildir. Mozaik tipi yük dağılımına sahip taneler pozitif ve negatif yamalara temas edecek şekilde etkileşime girerek oldukça güçlü bir temas sağlamaktadır [32]. Şekil 2.13'de elektrostatik yama mekanizması gösterilmektedir [31];



Şekil 2.13. Elektrostatik yama mekanizması

### 3. LİTERATÜRDE YAPILAN BENZER ÇALIŞMALAR

Yüksek Basıncılı Asit Liçi prosesinde otoklav içerisindeki malzeme liçleme işlemi sonrası katı sıvı ayrımı ve yıkama aşamasına geçmektedir. Dünya genelinde birçok tesiste bu aşama için yaygın olarak CCD prosesi kullanılmaktadır. CCD prosesinde efektif bir yıkama gerçekleşmesi, iyi bir katı sıvı ayrımı ile mümkün olmaktadır. Farklı bir alternatif olmadığı takdirde, proses içerisinde son CCD tikiner alt akımının atık malzeme kapsamında olması, yıkama veriminin tesis verimi açısından büyük önem arz ettiğini göstermektedir. Katı sıvı ayrımının performansını belirleyen başlıca husus ise flokülant ya da koagülant seçimine dayalıdır. Bunu belirleyebilmek amacı ile proses şartlarına bağlı olarak seçilen flokülant ve koagülantlar ile laboratuvar ortamında test çalışmaları yapılmaktadır. Test çalışmaları sonucunda ise belirlenen kriterlere göre optimum performansı gösteren reaktif tercih edilmektedir. Bununla birlikte cevher hazırlama proseslerinde katı-sıvı ayrımı vazgeçilmez bir unsur konumunda olduğundan flokülasyon olayının değişen parametrelere göre ya da farklı özelliklere sahip flokülantların prosese olan etkisini inceleyen çok sayıda çalışma bulunmaktadır.

Dwary, Angadi ve Triphaty, flokülant iyonitesinin ve farklı molekül ağırlıklarının kromit prosesi cevher atığının flokülasyon karakteristiğine olan etkisini araştırmıştır. Çalışma kapsamında farklı iyonite dereceleri ve molekül ağırlıklarındaki anyonik ve katyonik flokülantlar ile noniyonik bir flokülant kullanılarak kromit zenginleştirme prosesi sonrası oluşan atığa çökme testleri uygulanmıştır. Cevher atığının mineralojik karakterizasyonu incelendiğinde ise atık içeriğinde kromit, götit ve gibsit minerallerin yer aldığı görülmüştür. Her bir flokülant farklı dozajlara göre çökme testine tabi tutulduğunda; noniyonik tipteki flokülantın dozaj arttırımına bağlı olarak çökme hızında herhangi bir değişiklik olmadığı ancak anyonik ve katyonik flokülantlarda çökme hızının dozaj ile doğru orantılı olduğu sonucuna varılmıştır. Öte yandan en yüksek dozaj ile yapılan test sonucunda %20 ve %25 anyoniteye sahip anyonik flokülantlar ve yüksek molekül ağırlıklı %75 katyonik flokülant olumlu sonuç vermiştir. Sonuç olarak polimer iyonitesinin flokülasyon oranı, çökme ve konsolidasyon hızı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Aynı zamanda düşük anyonik ve düşük molekül ağırlıklı anyonik flokülantların floklaşma özellikleri gelişim gösterirken, katyonik



flokülanların daha yüksek katyonite ve molekül ağırlığında daha iyi performans gösterdiği ve noniyonik flokülanın atık malzeme üzerinde flokülasyon oluşturacak herhangi bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir [34].

Çiftçi ve Işık, anyonik, katyonik ve noniyonik flokülanlar ile lavvar tesisi atıklarının çökme davranışlarına olan etkisini inceleyen bir çalışma gerçekleştirmiştir. Test sonuçlarına göre anyonik flokülan dozajı arttırıldıkça daha yüksek berraklık elde edildiği ancak belli bir dozajdan sonra berraklık değerinde bir artış görülmediği tespit edilmiştir. Katyonik flokülanların ise anyonik flokülanlara göre daha yavaş çökme gerçekleştirdiği ve buna sebep olan unsurun katyonik flokülanlar ile meydana gelen flok boyutlarının anyonik flokülanlara kıyasla daha küçük olması sebebi ile gerçekleştiği belirtilmiştir. Noniyonik flokülanın düşük dozajlarda çökmeye ve berraklığa olan etkisi az olmakla birlikte, dozaj arttırımı sonucunda bile anyonik flokülanların gerisinde bir performansı olduğu görülmüştür. Bu performans düşüklüğünün sebebi ise noniyonik flokülanların yumaklaşan kıvrımlı zincir yapısı sebebi ile taneler arasında köprü oluşumunu zorlaştırmasına bağlanmıştır. Özetle anyonik flokülanlar çökme hızı bakımından katyonik ve noniyonik flokülanlara göre daha iyi bir performans göstermiş ve düşük dozajlarda dahi olumlu sonuç vermiştir [35].

Göçer, kil minerallerinin flokülasyon ve koagülasyon ile çökme karakteristiğini incelemiştir. Kaolin, Na-Bentonit, Ca-Bentonit ve ara tip (Na,Ca)-Bentonit türündeki kil minerallerine farklı dozlarda anyonik, katyonik ve noniyonik flokülanlar kullanılarak çökme testleri uygulanmıştır. Flokülasyon açısından sonuçlar değerlendirildiğinde en iyi performansı anyonik flokülanın verdiği görülmüştür. Bu durumun sebebinin ise tanelerin salkımlaşarak biraraya gelmesini sağlayan polimer köprüleme mekanizması olduğu belirtilmiştir [36].

Demiral, killerin elektrokinetik özellikleri ve flokülasyonuna dair bir çalışma ortaya koymuştur. Flokülan tipi, dozajı ve süspansiyon pH'ının bulanıklık ve çökme bakımından kil minerallerinin flokülasyon karakteristiğine olan etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda, ölçümler sonucu tüm kil minerallerinin yüzey yükünün negatif değerlikli bulunmasına rağmen en olumlu sonucu veren flokülanın anyonik yapıda olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda kullanılan süspansiyonun

katı oranının %3 olduğu koşullarda çökmenin daha başarılı olduğu ve daha berrak bir üst akım elde edildiği tespit edilmiştir. Genel anlamda flokülant dozajı arttıkça flokülasyon daha iyi gerçekleşmiş ancak belli bir artış miktarından sonra herhangi bir değişim olmadığı gözlemlenmiştir. Anyonik flokülant ile pH değerinin flokülasyona olan etkisi incelenmiş ve yüksek pH değerlerinde çökme hızının azaldığı görülmüştür. Buna sebep olarak pH değerinin artması sonucu askıda olan katı tanelerin birbirini iterek daha stabil bir konuma ulaşması gösterilmiştir [37].

Eswaraiah, Biswal ve Mishra, çok ince taneli demir cevheri şlamının çökme karakteristiğini araştırmıştır. Çalışma demir cevherinin spiral sınıflandırıcı üst akımı ile yapılmış olup anyonik, katyonik ve noniyonik flokülantların, farklı dozaj ve pH şartlarındaki çökme davranımları incelenmiştir. Aynı zamanda 4:1 oranında anyonik ve katyonik flokülant kombinasyonunun da denemesi yapılmıştır. Farklı dozaj ve pH'lara göre sonuçlar değerlendirildiğinde anyonik flokülantın diğer tür flokülantlara göre daha iyi performans gösterdiği ve dozaj arttırımı ile birlikte çökme hızının arttığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda anyonik flokülantların iyi performans göstermesine sebep olarak test için kullanılan malzemenin pozitif yüzey yüküne sahip olması gösterilmiş, poliakrilamid kullanılması durumunda çökme hızı ya da oranını önemli ölçüde arttırabildiğini ve dolayısıyla çökme işleminin pratikte kullanılabilir olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır [38].

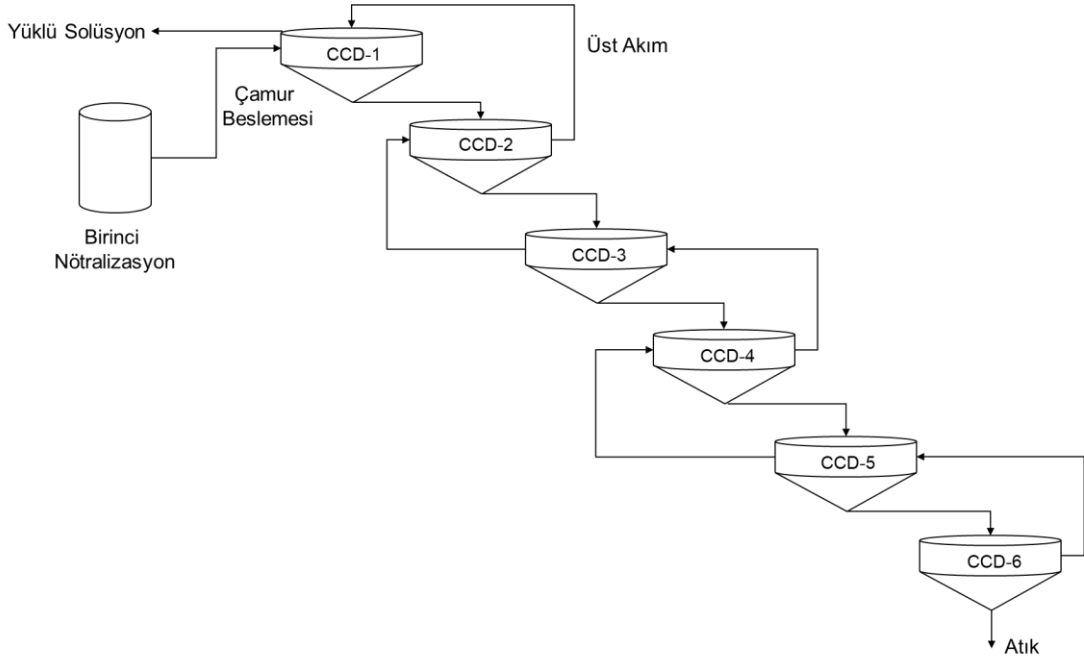
Kumar, Bhattacharya ve Mandre, ince taneli kömür atıklarının karakterizasyonu ve flokülasyonu üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmanın flokülasyon karakteristiği kapsamında anyonik ve yüksek moleköl ağırlıklı bir flokülant ile öncelikle optimum bir çamur katı oranı ve pH değeri belirlenmiş ve belirlenen bu parametrelere göre flokülant dozajının, çökme süresi, sıkışma ve üst akım berraklığına olan etkileri araştırılmıştır. Optimum çamur katı oranı %8 ve pH değeri ise 8 olarak belirlenmiştir. 8 üzeri pH'larda çökme oranlarında düşüş olması ise süspansiyon pH'ının polimer zincirinin yük özelliklerini ve çözelti ile uyumunu değiştirmesi ve bu durumun da doğrudan polimerin flokül oluşturma gücünü etkilemesi, tanelerin çökme hızında değişikliğe yol açabileceği şeklinde açıklanmıştır. Flokülant dozajının artışına bağlı olarak daha berrak bir üst akım

elde edildiği fakat belli bir dozaj sonrası gözle görülür bir değişim olmadığı aynı zamanda atık katı oranı miktarında bir hayli yükselme olduğu kaydedilmiştir [39].

## 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

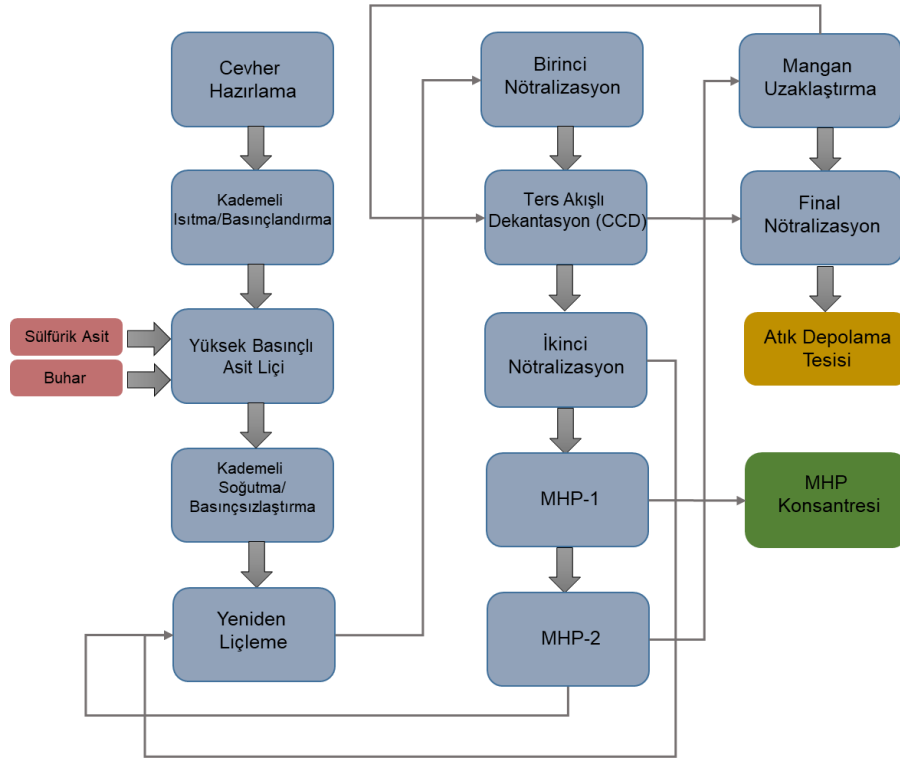
### 4.1. Proses Tanımı

Deneysel çalışmalar Meta Nikel Kobalt Madencilik A.Ş. Proses Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deney numunesi olarak, CCD tikinerlerine beslenen çamur numunesi ve seyreltme amacı ile 2 no'lu CCD tikinerinin üst akım solüsyonu kullanılmıştır. Besleme malzemesi CCD bölgesinde yıkama işlemine tabi tutulmadan önce farklı proses aşamalarından geçmektedir. Tesise beslenen cevher belli bir boyuta ve yoğunluğa ulaştırıldıktan sonra kademeli olarak ısıtılır ve yüksek basınçlı asit liçi prosesine hazırlanır. Yaklaşık 250 °C sıcaklık ve 4600 kPa basınca ulaşan malzeme sülfürik asit ile muamele edilerek liçlenir. Liçlenen malzeme kademeli olarak soğutulur ve birinci nötralizasyon bölgesinde pH değeri ayarlanarak, sıvı faza geçen ve proses dahilinde istenmeyen olarak tanımlanabilecek, alüminyum, demir, krom vb. impüritelerin katı faza geçirilmesi sağlanır. Birinci nötralizasyon bölgesinden çıkan malzeme CCD tikinerlerine beslenir; katı yüzeylerinin yıkanarak yüklü solüsyondan arındırılması ve yüklü solüsyonun çamur içerisinden ayrılması sağlanır. CCD ünitesi 6 kademe yüksek hızlı tikinerden oluşmaktadır. Tüm tikinere flokülant beslemesi yapılmakta olup, pH ayarlaması yapmak amacıyla yalnızca 6. tikinere sülfürik asit dozajlanmaktadır. Son yıkama kademesindeki tikiner altı malzemesi atık depolama tesisine transfer edilmektedir. CCD devresine ait özet akım şeması Şekil 4.1'deki gibidir;



Şekil 4.1. CCD Ünitesi akım şeması

CCD-1 tikinerinin üst akımı İkinci Nötralizasyon aşamasına transfer edilir. Burada kireçtaşı çözeltisi ilavesi ile pH değeri biraz daha yükseltilerek yüklü solüsyonda halen bulunmakta olan impüriteler çöktürülür. İkinci nötralizasyon tikinerinin alt akımı tekrar liçleme işleminin uygulanması ve aynı zamanda katı fazda yer alan değersiz malzemenin CCD üzerinden atık olarak sistemden uzaklaştırılması amacı ile yeniden liçleme (recycle leach) tankına beslenir. Tikiner üst akımı ise MHP-1 bölgesine gönderilir. MHP-1 bölgesinde  $Mg(OH)_2$  dozajlaması ile yüklü solüsyonda bulunan nikel ve kobaltın katı faza geçmesi sağlanır. MHP tikineri alt akımında belli bir yoğunluğa gelen malzeme filtre press ünitesine beslenir ve MHP keki elde edilmiş olur. MHP tikinerinin üst akım solüsyonu ise MHP-2 bölgesine transfer edilir. Solüsyon içerisinde kalan nikel ve kobalt sönmüş kireç ilavesi ile katı forma geçirilir ve MHP-2 tikiner alt akımı ile yeniden liçleme tankına gönderilir. MHP-2 üst akımı Mangan Uzaklaştırma aşamasına transfer edilir. Mangan uzaklaştırma tikinerinin üst akım solüsyonu CCD bölgesinde yıkama suyu olarak kullanılması sağlanır. Alt akımı ise Final Nötralizasyon tankına transfer edilir. Final nötralizasyon tankında bulunan nihai atık depolanmak üzere Atık Depolama Tesisine gönderilir. Şekil 4.2'de tesis genel akım şeması gösterilmektedir;



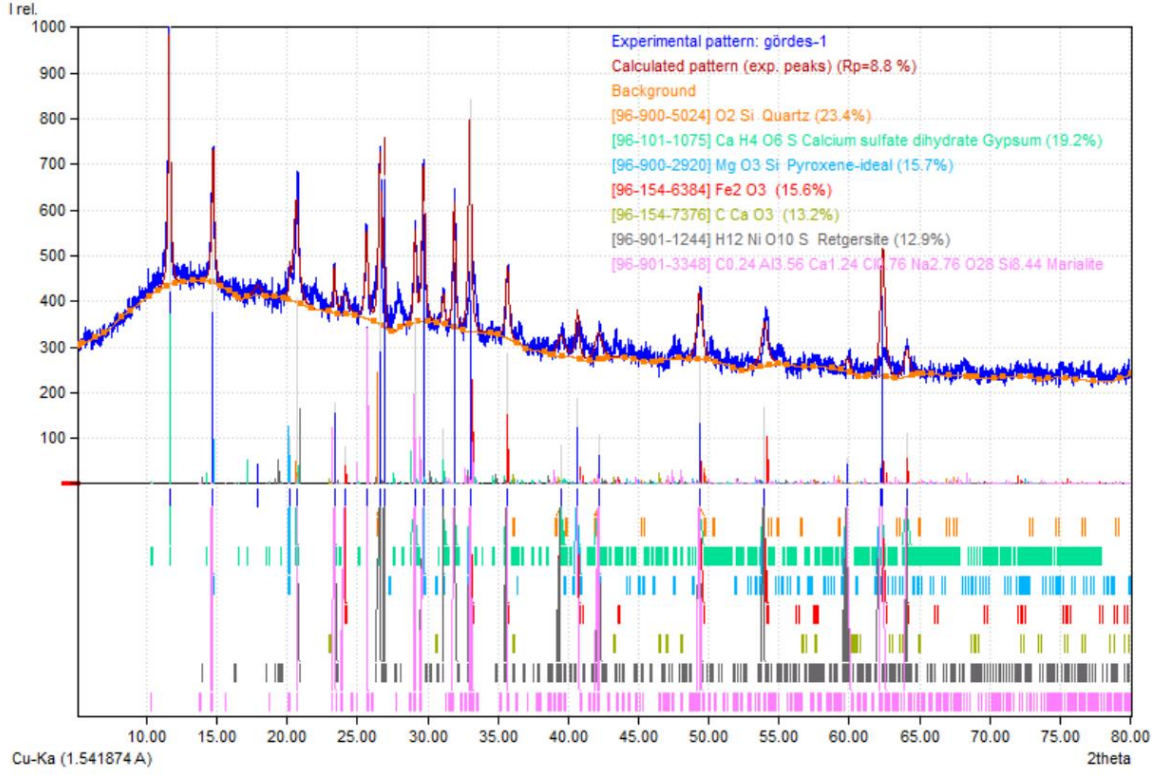
Şekil 4.2. Tesis genel akım şeması

## 4.2. Cevher Karakterizasyonu

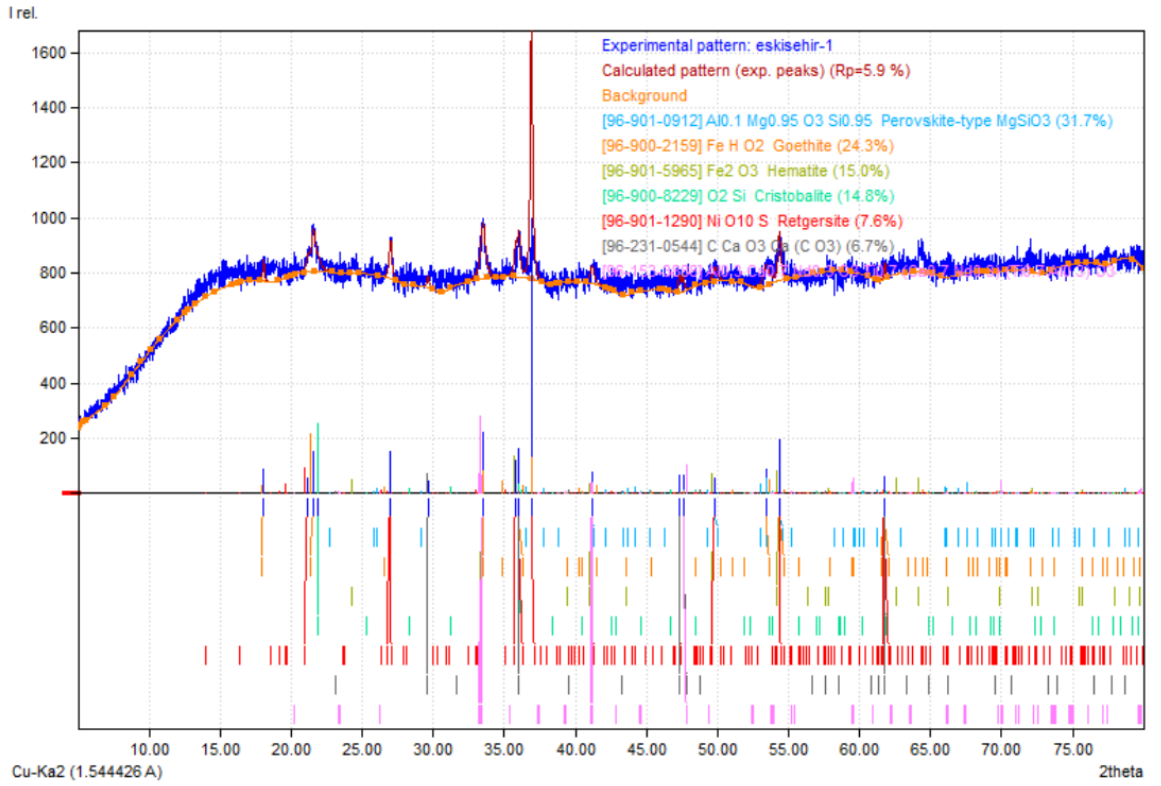
Birinci nötralizasyon bölgesinden alınan çamur numunesinin karakteristiğini ve içeriğini belirleyebilmek, aynı zamanda da çökme performanslarına olan etkisini inceleyebilmek için tüm test numunelerinin elementel analiz, tane boyu dağılımı, analizleri yapılmıştır.

### 4.2.1. XRD Analizleri

XRD analizleri Gördes ve Karaçam cevherleri için yüksek basınçlı asit liçi yapılacak çamur numunesi ile yapılmış olup Şekil 4.3. ve 4.4.'te grafikler yer almaktadır;



Şekil 4.3. HPAL Besleme Gördes numunesi XRD grafiği



Şekil 4.4. HPAL Besleme Karaçam numunesi XRD grafiği

#### 4.2.2. Kimyasal Analizler

Birinci nötralizasyon çamur numunesinin elementel içeriğinin belirlenmesi amacıyla katı ve sıvı fazda ICP-OES analizleri yapılmıştır. Çizelge 4.1. ve 4.2.'de kimyasal analiz sonuçları yer almaktadır;

Çizelge 4.1. Birinci Nötralizasyon numunesi katı kimyasal analiz sonuçları

<b>BİRİNCİ NÖTRALİZASYON ICP-OES KATI</b>									
<b>Test No</b>	<b>Al %</b>	<b>As %</b>	<b>Ca %</b>	<b>Co %</b>	<b>Cr %</b>	<b>Fe %</b>	<b>Mg %</b>	<b>Mn %</b>	<b>Ni %</b>
<b>Test-1</b>	2,628	0,349	10,454	0,004	0,794	21,35	0,266	0,055	0,087
<b>Test-2</b>	1,814	0,251	11,560	0,003	0,452	15,64	0,219	0,053	0,072
<b>Test-3</b>	2,420	0,295	11,827	0,003	0,490	15,40	0,238	0,052	0,072
<b>Test-4</b>	1,965	0,272	8,472	0,005	0,818	26,71	0,169	0,144	0,097
<b>Test-5</b>	1,744	0,221	7,920	0,006	0,846	27,86	0,190	0,135	0,132
<b>Test-6</b>	1,911	0,234	10,830	0,005	0,813	21,45	0,171	0,082	0,088

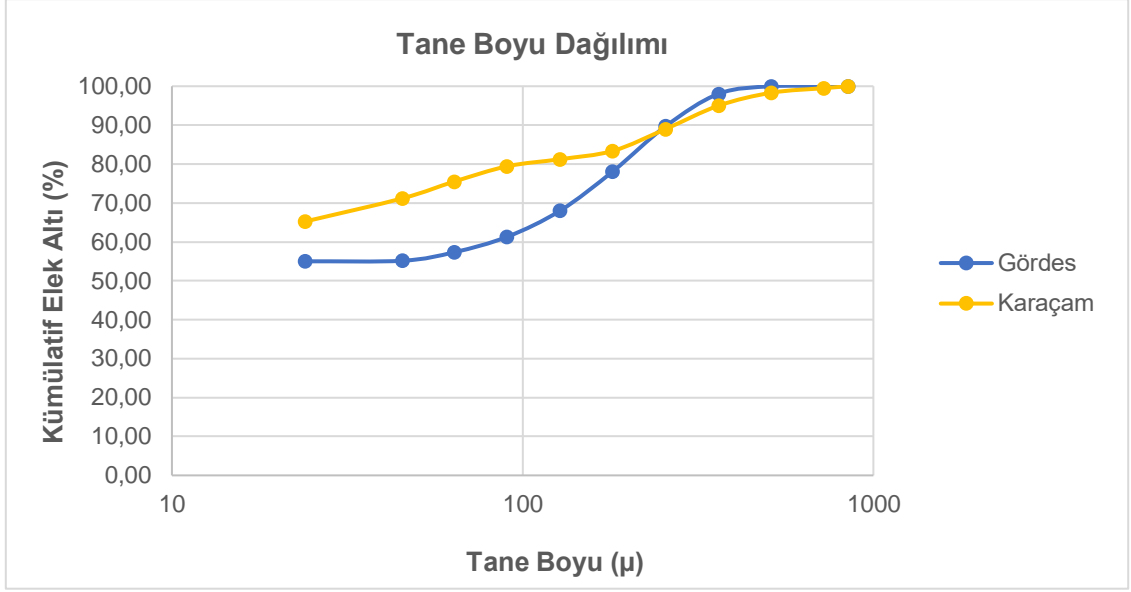
Çizelge 4.2. Birinci Nötralizasyon numunesi sıvı kimyasal analiz sonuçları

<b>BİRİNCİ NÖTRALİZASYON ICP-OES SIVI</b>									
<b>Test No</b>	<b>Al %</b>	<b>Ca %</b>	<b>Co %</b>	<b>Cr %</b>	<b>Fe %</b>	<b>Mg %</b>	<b>Mn %</b>	<b>Ni %</b>	<b>Si %</b>
<b>Test-1</b>	0,937	0,068	0,014	0,035	0,045	0,927	0,129	0,293	0,034
<b>Test-2</b>	0,670	0,077	0,013	0,016	0,020	1,313	0,118	0,286	0,022
<b>Test-3</b>	0,700	0,066	0,014	0,013	0,026	1,184	0,121	0,326	0,021
<b>Test-4</b>	1,276	0,070	0,015	0,058	0,051	0,827	0,183	0,280	0,024
<b>Test-5</b>	1,117	0,070	0,018	0,064	0,062	0,747	0,168	0,313	0,033
<b>Test-6</b>	1,272	0,079	0,016	0,053	0,028	0,892	0,136	0,298	0,033

#### 4.2.3. Tane Boyu Dağılımı

Çökme testleri için çalışan tesis akışından çekilen her çamur numunesinden temsili şekilde numune alınarak mastersizer cihazı ile tane boyu dağılımı analiz edilmiştir. Her iki cevher için yapılan tane boyu dağılımına ait grafik Şekil 4.5'teki gibidir;





Şekil 4.5. Tane boyu dağılım grafiği

#### 4.3. Malzeme ve Deneysel Yöntem

Çalışma kapsamında birinci nötralizasyon çamur numunesi ve CCD-2 tikineri üst akış solüsyonu numuneleri ile SNF marka çeşitli molekül ağırlıklarında anyonik, katyonik ve noniyonik türde flokülantlar kullanılarak bir dizi çökme testi yapılmıştır. Testler, tesise iki tür cevher beslenmesi sebebi ile Gördes ve Karaçam olmak üzere iki farklı cevher tipi için gerçekleştirilmiştir. Çamur ve solüsyon numune sıcaklıkları tesis değerleri ile aynı tutulmaya çalışılmıştır. Test süresince sıcaklık, pH ve potansiyel değerleri ölçülerek takibi yapılmıştır. Tüm testlere ait çalışma koşulları Çizelge 4.3, 4.4, 4.5, ve 4.6'da gösterilmektedir;

Çizelge 4.3. Testlerde kullanılan cevher tipleri

<b>Test No</b>	<b>Cevher Tipi</b>
<b>Test-1</b>	Manisa-Gördes
<b>Test-2</b>	Manisa-Gördes
<b>Test-3</b>	Manisa-Gördes
<b>Test-4</b>	Eskişehir-Karaçam
<b>Test-5</b>	Eskişehir-Karaçam
<b>Test-6</b>	Eskişehir-Karaçam

Çizelge 4.4. Birinci nötralizasyon çamur numunesi koşulları

Test No	BİRİNCİ NÖTRALİZASYON (PN) ÇAMUR			
	pH	Potansiyel (mV)	Sıcaklık (°C)	Katı Oranı (%)
Test-1	2,83	418,20	75-80	30
Test-2	3,24	519,96	75-80	26
Test-3	3,17	531,37	75-80	29
Test-4	3,08	529,83	75-80	27
Test-5	2,96	558,96	75-80	30
Test-6	3,06	531,72	75-80	29

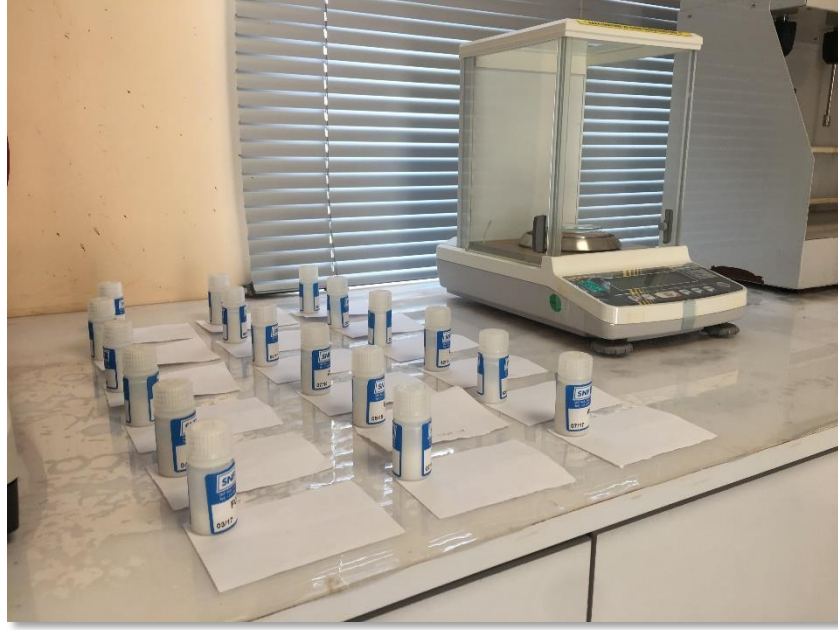
Çizelge 4.5. CCD-2 tikineri üst akış solüsyonu çalışma koşulları

Test No	CCD-2 TİKİNERİ ÜST AKIŞ SOLÜSYONU		
	pH	Potansiyel (mV)	Sıcaklık (°C)
Test-1	3,44	383,90	40
Test-2	3,69	485,67	40
Test-3	3,74	486,30	40
Test-4	3,44	219,00	40
Test-5	3,52	494,56	40
Test-6	3,55	495,98	40

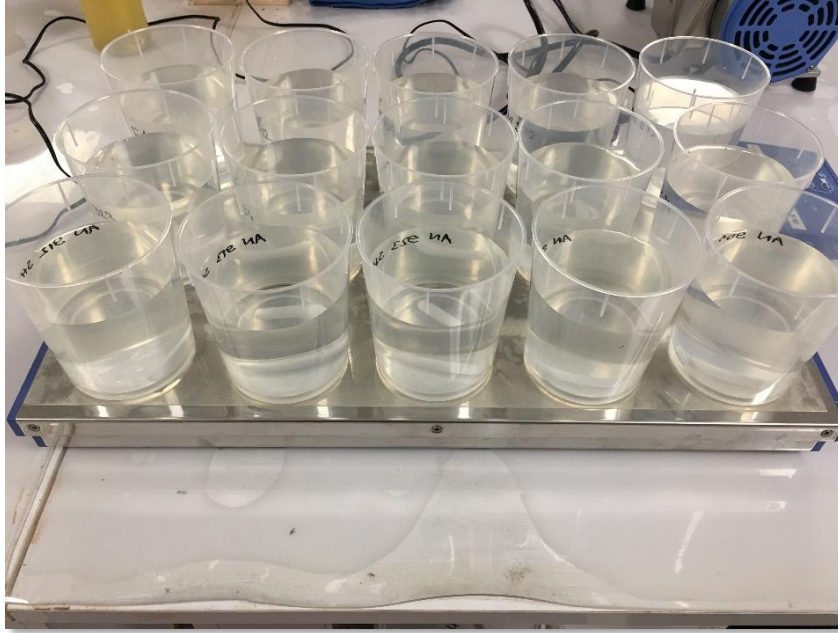
Çizelge 4.6. Çökme testi için seyreltilerek hazırlanan çamur numunesinin çalışma koşulları

Test No	PN + CCD-2 (Seyreltilmiş Çamur)			
	pH	Potansiyel (mV)	Flokülant Dozajı (g/t)	Katı Oranı (%)
Test-1	3,29	392,48	850	7
Test-2	3,53	512,53	850	7
Test-3	3,60	513,06	850	7
Test-4	3,35	296,71	850	7
Test-5	3,38	510,66	850	7
Test-6	3,43	504,92	850	7

Her test için taze solüsyon olacak şekilde tesis proses suyu kullanılarak %0,1'lik derişimde stok flokülant çözeltisi hazırlanmıştır. Manyetik karıştırıcı ile yaklaşık 3 saat boyunca karıştırma işlemine tabi tutulmuş ve tamamen çözünmesi sağlanmıştır. Flokülant hazırlama aşamasına ait görseller Şekil 4.6 ve 4.7'deki gibidir;



Şekil 4.6. Toz flokülant tartımı



Şekil 4.7. Manyetik karıştırıcı ile hazırlanan flokülant çözeltileri

Kullanılan flokülantlar anyonik, katyonik ve noniyonik türde olup, anyonite dereceleri %3 ila %70 arasında, katyonite dereceleri ise %1,5 ila 100 arasında değişmektedir. Molekül ağırlıkları sınıflandırmasını gösteren tablo Çizelge 4.7'deki gibidir;

Çizelge 4.7. Flokülant molekül ağırlıkları

<b>Katyonic Flokülant Molekül Ağırlıkları</b>	
<b>10<sup>6</sup> Dalton</b>	<b>Sınıflandırma</b>
4 - 9	Orta
7 - 11	Yüksek
9,5 - 14	Çok Yüksek
<b>Anyonik Flokülant Molekül Ağırlıkları</b>	
<b>10<sup>6</sup> Dalton</b>	<b>Sınıflandırma</b>
8 -14	Orta
9 - 17	Yüksek
12 - 23	Çok Yüksek

Her iki cevher tipi için yapılacak tüm çökme testlerinde sabit koşul olarak kullanılmak üzere optimum katı yüzdesi ve flokülant dozajını belirlemek amacıyla yüksek molekül ağırlıklı noniyonik bir flokülant ile bir ön test gerçekleştirilmiştir. Ön test aşamasından sonra yapılmış olan 6 adet test belirlenen bu katı oranı ve dozaja göre gerçekleştirilmiştir. Testlere ait veriler Çizelge 4.8 ve 4.9'da gösterilmektedir;

Çizelge 4.8. Gördes cevheri için farklı katı oranlarına göre çökme performansı

	<b>5%</b>	<b>7%</b>	<b>10%</b>
<b>Çökme Süresi (sn)</b>	4,75	6,41	28,5
<b>Sıkışma (mL)</b>	105	130	170
<b>Berraklık (AKM)</b>	215	214	97

Çizelge 4.9. Gördes cevheri için farklı flokülant dozajlarına göre çökme performansı

	<b>280 (g/t)</b>	<b>560 (g/t)</b>	<b>850 (g/t)</b>	<b>1130 (g/t)</b>
<b>Çökme Süresi (sn)</b>	-	40,08	7,75	7,38
<b>Sıkışma (mL)</b>	-	125	130	130
<b>Berraklık (AKM)</b>	-	187	107	46

Sonuçlar incelendiğinde özellikle çökme süresi bakımından en optimum katı oranı değerinin %7 olduğu kanaatine varılmıştır. Aynı şekilde farklı flokülant dozajları ile test yapıldığında ise katı oranına göre 850 g/t flokülant dozajlamasının en iyi performansı verdiği görülmüştür. Testlere ait veriler Çizelge 4.10. ve 4.11’de gösterilmektedir;

Çizelge 4.10. Karaçam cevheri için farklı katı oranlarına göre çökme performansı

	<b>5%</b>	<b>7%</b>	<b>10%</b>
<b>Çökme Süresi (sn)</b>	3,47	8,03	132,6
<b>Sıkışma (mL)</b>	80	100	150
<b>Berraklık (AKM)</b>	50	120	343

Çizelge 4.11. Karaçam cevheri için farklı flokülant dozajlarına göre çökme performansı

	<b>280 (g/t)</b>	<b>560 (g/t)</b>	<b>850 (g/t)</b>	<b>1130 (g/t)</b>
<b>Çökme Süresi (sn)</b>	-	42,8	13,75	9,82
<b>Sıkışma (mL)</b>	-	107	110	105
<b>Berraklık (AKM)</b>	-	68	75	113

Gördes cevherinde olduğu gibi Karaçam cevheri için de aynı prosedür gerçekleştirilmiş ve optimum katı oranı %7, flokülant dozajı ise 850 g/t olarak belirlenmiştir.

Tüm çökme testleri 500 mL hacimdeki mezür ve plunger aparatı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Birinci nötralizasyon çamuru, CCD-2 tikineri üst akış solüsyonu ile çamur katı oranı %7 olacak şekilde seyreltilerek kullanılmıştır. Flokülantlar, molekül ağırlıkları ve iyon özelliklerine göre gruplandırılarak setler halinde çökme testi uygulanmıştır. Flokülant dozajlaması, tesis tikiner dozajlama ve çamur ile karışma sistemini temsil etmesi bakımından iki aşamada yapılmıştır. Her iki dozajlama arasında plunger aparatı ile karıştırma sağlanmıştır. Dozajlamanın ardından mezür üzerinde 450-300 mL arasındaki mesafe boyunca

Çökme süreleri kronometre ile kayıt altına alınarak 30 dakika süre sonra çöken katı miktarlarının hacimsel sıkışma değerleri tespit edilmiştir. Berraklık değerini belirleyebilmek amacı ile temiz solüsyondan numune alınarak AKM ölçümü yapılmıştır. Bahsedilen prosedür her iki cevher tipine üç tekrarlı olacak şekilde uygulanmıştır. Çalışmaya ait görseller Şekil 4.8'deki gibidir;



Şekil 4.8. Test düzeni ve plunger aparatı

## 5. DENEYSEL SONUÇLAR

Test çalışmalarının tamamlanması ile birlikte her iki cevher tipi için ölçülen ve kayıt altına alınan tüm veriler ışığında flokülantların çöktürme performansları değerlendirilmiştir. Testler sonucunda performans değerlendirmesini oluşturan çökme süresi, hacimsel sıkışma miktarı, berraklık gibi parametreler incelenmiştir. Noniyonik, anyonik ve katyonik flokülantlar ayrı olarak gruplandırılarak tüm testlerin birbiri ile kıyaslaması yapılmıştır. Yapılan testlerde olumsuz sonuç vermiş olan flokülantlar değerlendirme kapsamına alınmamıştır. Değerlendirme kapsamına alınan flokülant özellikleri Çizelge 5.1’de verilmektedir;

Çizelge 5.1. Değerlendirme kapsamına alınan flokülantların özellikleri

<b>Flokülant</b>	<b>%Mol</b>	<b>Tür</b>	<b>Molekül Ağırlığı</b>
<b>FA 920</b>	0	Noniyonik	Orta
<b>FA 920 SH</b>	0	Noniyonik	Yüksek
<b>FA 920 VHM</b>	0	Noniyonik	Çok Yüksek
<b>AH 912</b>	1	Düşük Anyonik	Orta
<b>AH 912 SH</b>	1	Düşük Anyonik	Yüksek
<b>AN 905</b>	5	Düşük Anyonik	Orta
<b>FO 4125 SH</b>	2,5	Düşük Katyonik	Orta
<b>FO 4650 SH</b>	55	Çok Yüksek Katyonik	Orta
<b>FO 4700 SH</b>	70	Çok Yüksek Katyonik	Orta
<b>FO 4800 SH</b>	80	Çok Yüksek Katyonik	Orta
<b>FO 4990 SH</b>	100	Çok Yüksek Katyonik	Orta
<b>FO 4115 SSH</b>	1,5	Düşük Katyonik	Yüksek
<b>FO 4650 SSH</b>	55	Çok Yüksek Katyonik	Yüksek
<b>FO 4700 SSH</b>	70	Çok Yüksek Katyonik	Yüksek
<b>FO 4800 SSH</b>	80	Çok Yüksek Katyonik	Yüksek

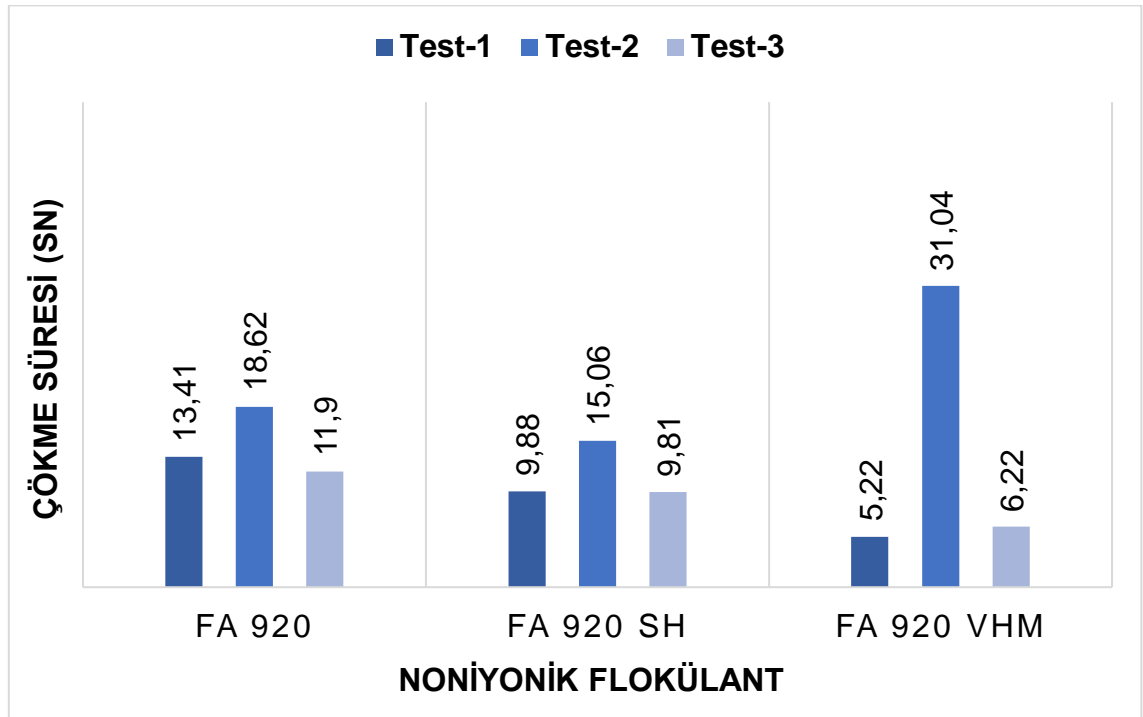
Çökme testlerinin yorumlanabilmesi amacı ile performans parametrelerinin optimum (kabul edilebilir) değer aralıkları belirlenmiş olup Çizelge 5.2'de verilmektedir. Sonuç yorumlamalarının tümü bu değerler baz alınarak yapılmıştır.

Çizelge 5.2. Değerlendirme parametrelerinin optimum değer aralıkları

Parametre	Optimum Değer Aralığı
Çökme Süresi (sn)	10-30
Sıkışma Miktarı (mL)	100-130
Tikiner Alt Akım Katı Oranı (%)	30-35
Berraklık (AKM) (mg/L)	100-200

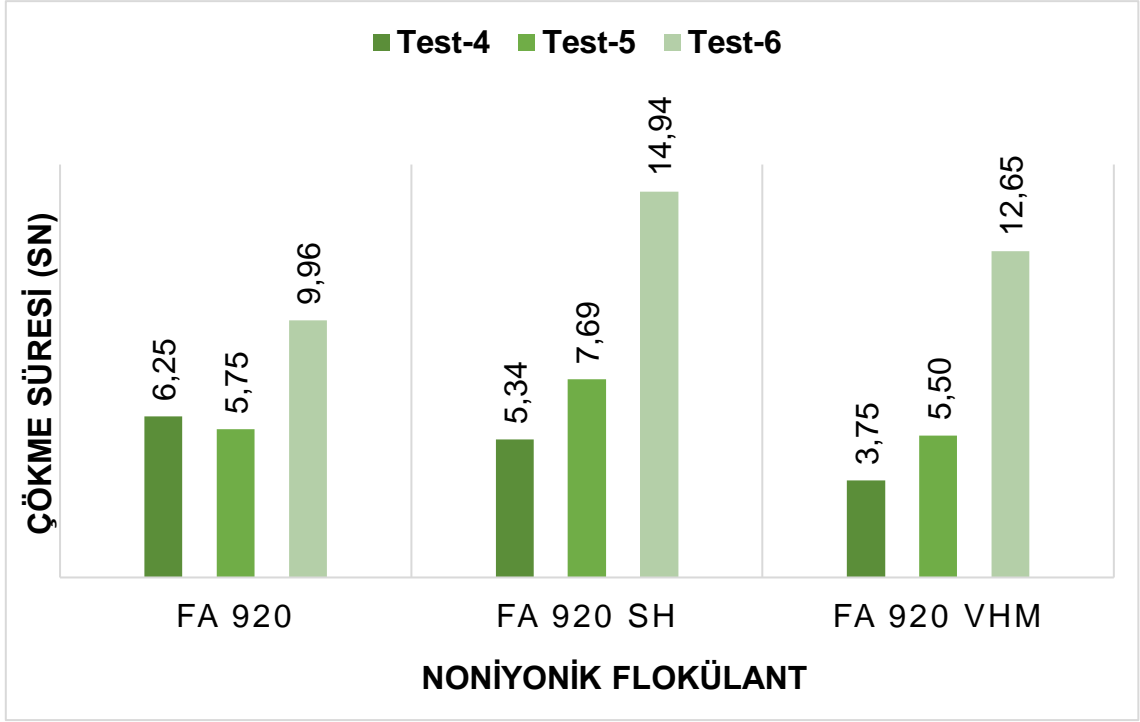
### 5.1. Noniyonik Flokülantlar ile Yapılan Testler

Farklı molekül ağırlıklarına sahip tüm noniyonik flokülantlar değerlendirme kapsamına alınmıştır. Çökme süreleri göz önünde bulundurulduğunda genel olarak tüm testlerde olumlu sonuç elde edildiği görülmüştür. Gördes ve Karaçam cevheri için çökme sürelerine ait grafik Şekil 5.1 ve 5.2'de verilmektedir;



Şekil 5.1. Gördes cevheri noniyonik flokülant ile çökme süreleri

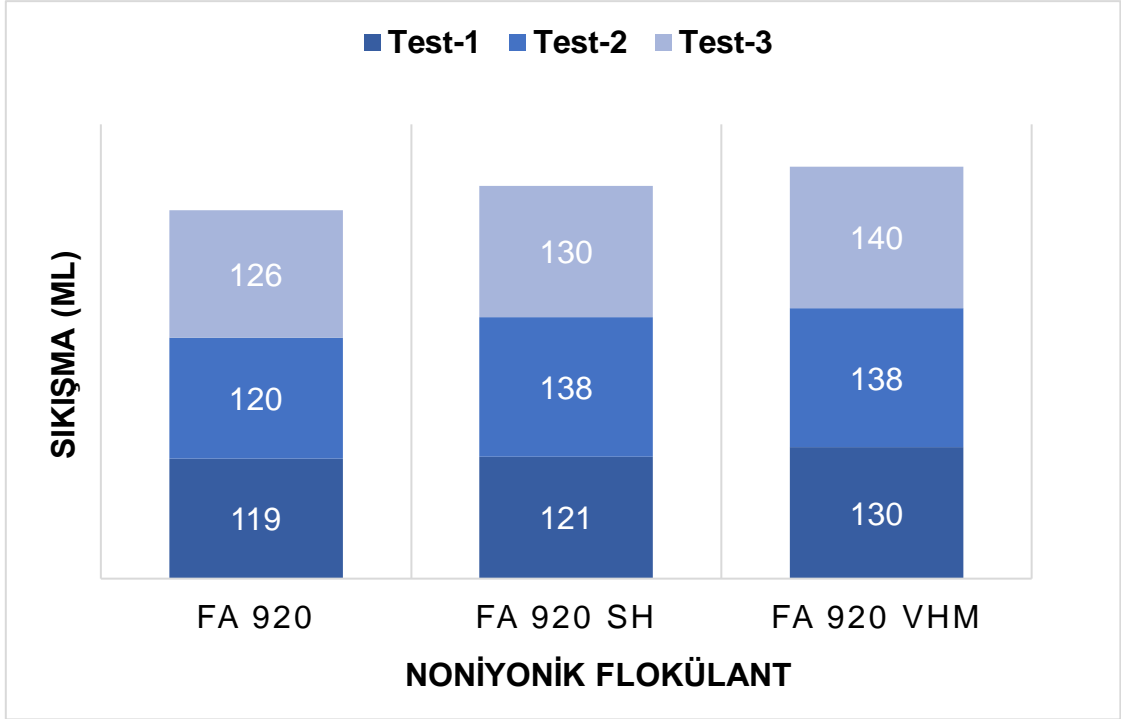




Şekil 5.2. Karaçam cevheri noniyonik flokülant ile çökme süreleri

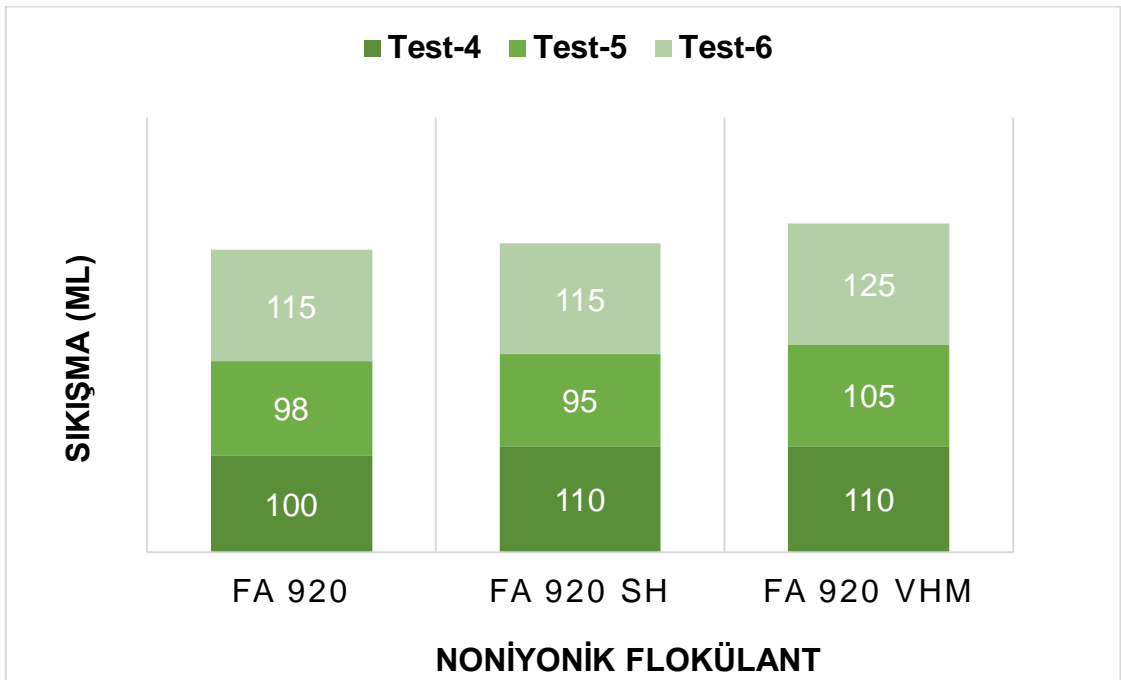
Gördes cevheri için çökme süreleri incelendiğinde FA 920 ve FA 920 SH flokülantlarının üç test içerisinde birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Ancak 2 No'lu test sonuçlarında FA 920 VHM flokülantının çökme süresi bakımından performansında gözle görülür bir fark bulunmakta ve diğer testlerde ise çok hızlı sürelerde çökme sağladığı görülmektedir. Karaçam cevherinde ise çökme hızları genel anlamda çok yüksek olmakla birlikte, yalnızca 6 No'lu testte optimum bir çökme hızına ulaşıldığı görülmektedir.

Değerlendirme için çökme süresi ilk aşamada önemli bir kriter olmakla birlikte, çöken katının sıkışma miktarının da göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Noniyonik flokülantlar ile her iki cevherin sıkışma miktarları Şekil 5.3 ve 5.4'te gösterilmektedir;



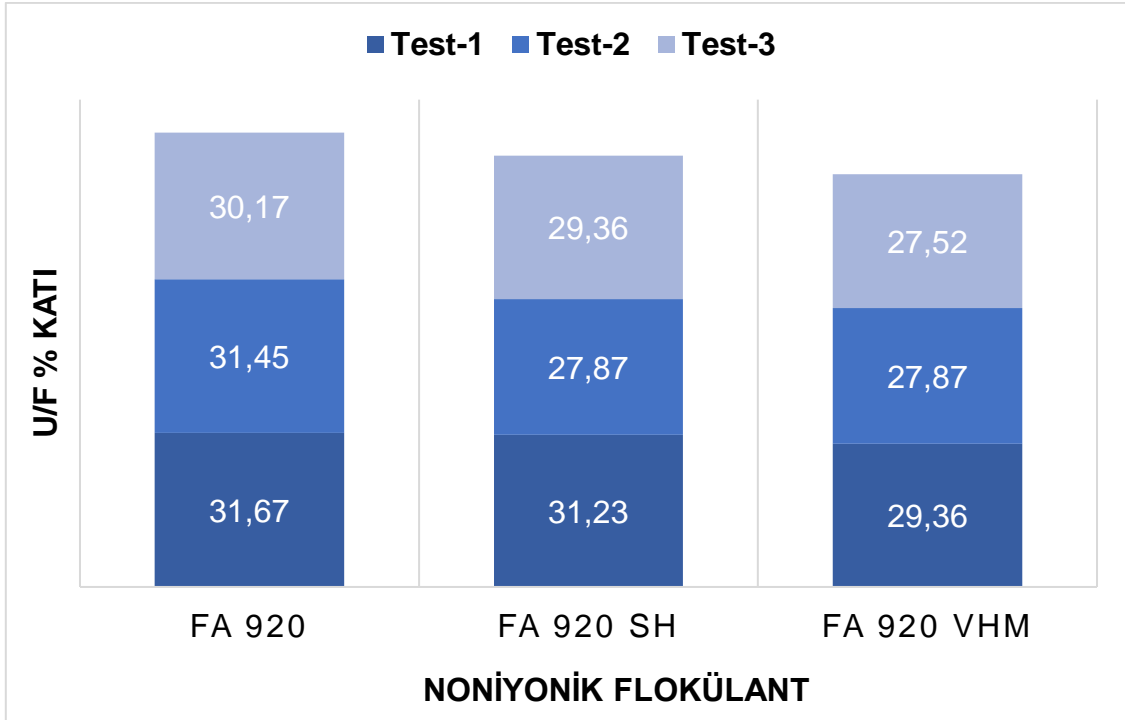
Şekil 5.3. Gördes cevheri noniyonik flokülant ile sıkışma miktarları

Gördes cevheri için çöken katının hacimsel sıkışma miktarları incelendiğinde FA 920 flokülantının tüm testlerde makul sonuçlar verdiği görülmüştür. FA 920 SH flokülantının 2 No'lu, FA 920 VHM flokülantının ise 2 ve 3 No'lu test sonuçları için sıkışma miktarları yüksek seyretmiştir.

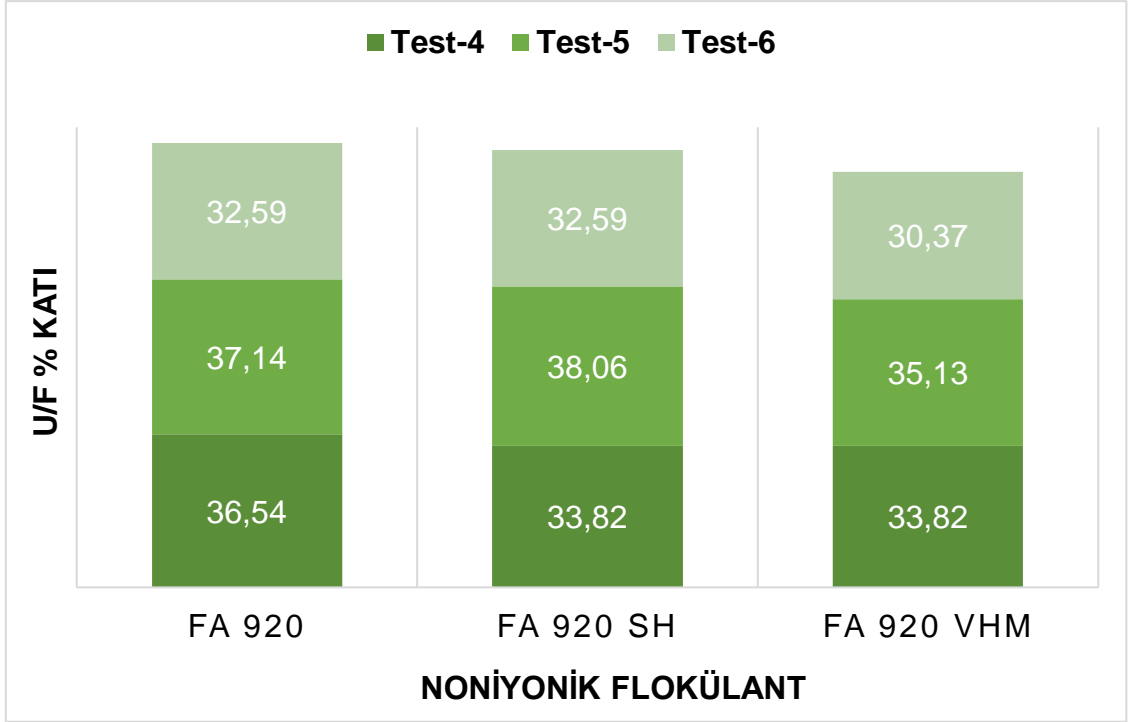


Şekil 5.4. Karaçam cevheri noniyonik flokülant ile sıkışma miktarları

Karaçam cevheri sonuçları incelendiğinde tüm testler için sıkışma miktarlarının kabul edilebilir olduğu görülmektedir. Hacimsel olarak sıkışma miktarının düşük olması tikiner alt akımındaki katı oranının yüksek değerlerde seyredeceğine işaret etmektedir. Bu durum da başarılı bir katı sıvı ayırımının gerçekleşmesi ve CCD operasyonu için istenen bir durumdur. Her iki cevher için sıkışma miktarlarına karşılık gelen tikiner alt akımı kütlece katı oranı değerleri Şekil 5.5. ve 5.6.'da gösterildiği gibidir;



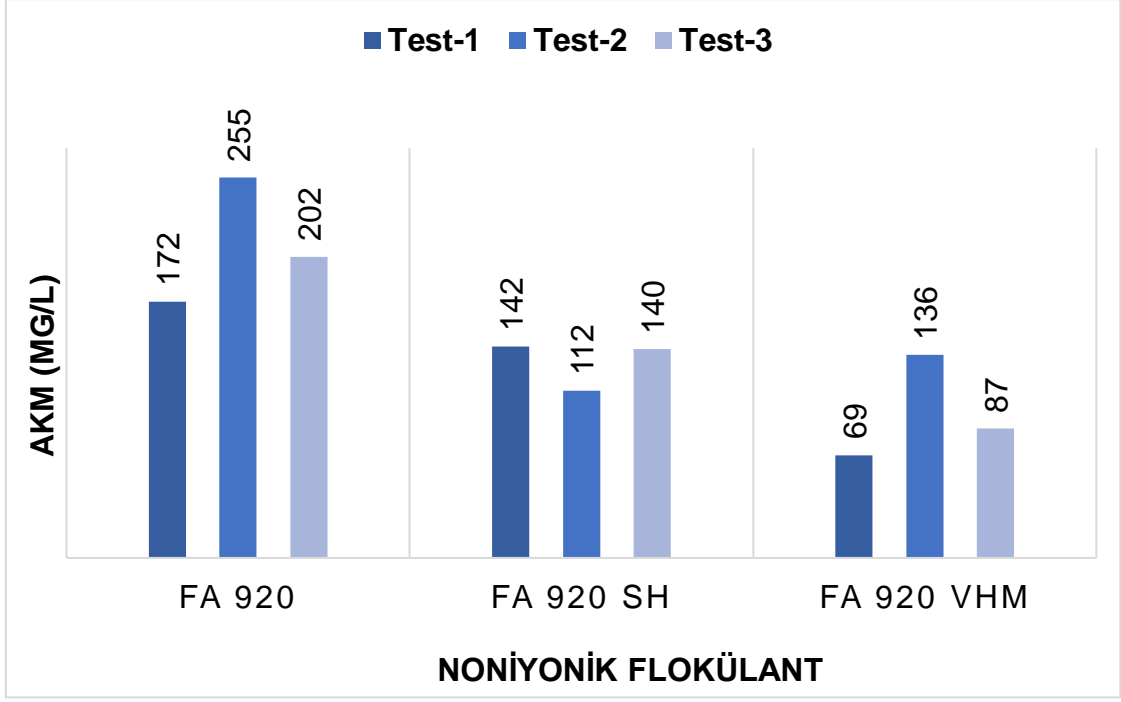
Şekil 5.5. Gördes cevheri noniyonik flokülant ile alt akım katı oranı değerleri



Şekil 5.6. Karaçam cevheri noniyonik flokülant ile tikiner alt akım katı oranı değerleri

Tikiner alt akım kütlece katı oranı değerleri, testler sonucunda elde edilen hacimsel sıkışma miktarlarına göre hesaplanmıştır ve performans göstergesi olarak daha iyi bilgi vermektedir. CCD tikinerleri için kabul edilebilir kütlece katı oranı %30-%35 aralığındadır. Bu değerler göz önünde bulundurulduğunda noniyonik flokülantların alt akım yoğunluğu oluşturması açısından Gördes ve Karaçam cevherleri arasında fark bulunduğu ve Karaçam cevherinde bir hayli olumlu etkisi olduğu görülmektedir.

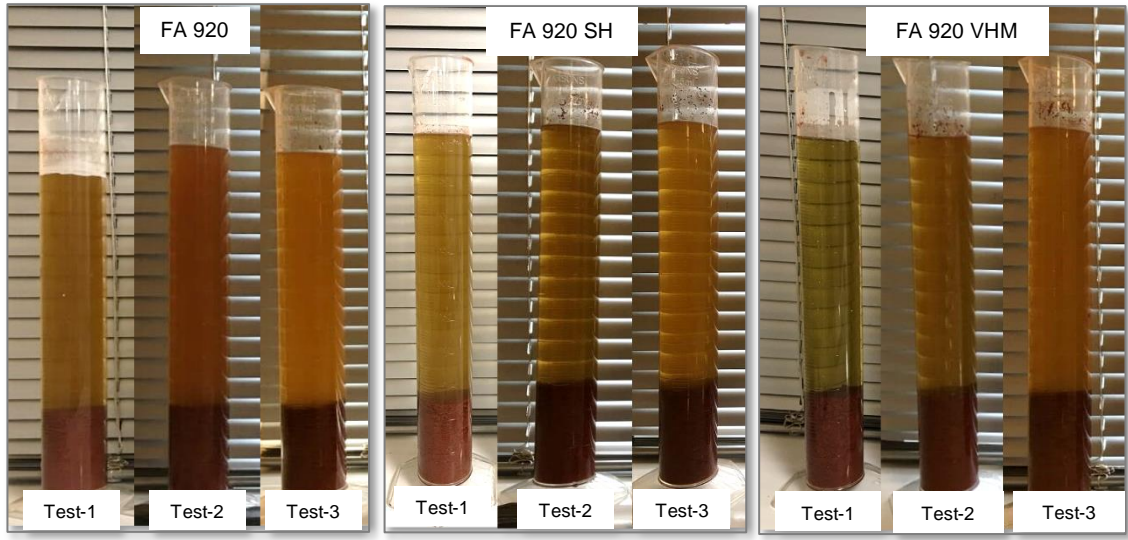
Çökme süresi ve sıkışma miktarı ile birlikte diğer önemli bir performans parametresi olarak berraklık değerleri de değerlendirme kapsamına alınmıştır. Şekil 5.7 ve 5.9'da Gördes ve Karaçam cevherlerinin berraklık değerleri gösterilmektedir;



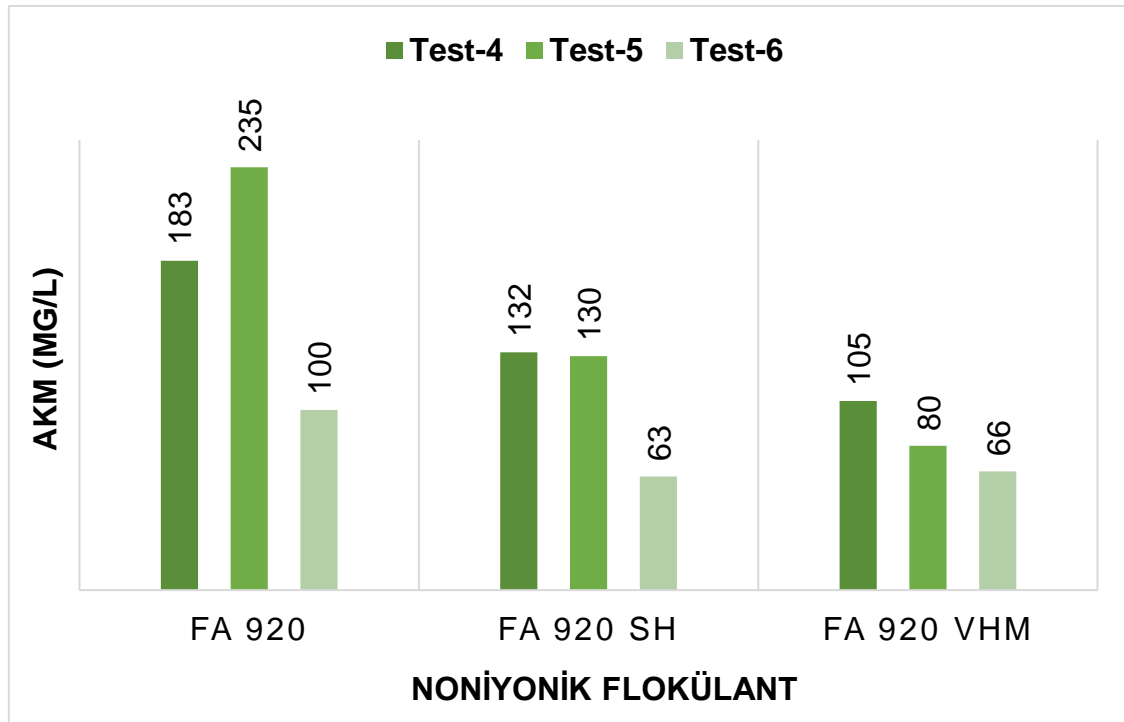
Şekil 5.7. Gördes cevheri noniyonik flokülant ile üst akım berraklık değerleri

Gördes cevheri için sonuçlar incelendiğinde FA 920 flokülantının AKM değerlerinin sınıra yakın seyrettiği belirlenmiştir. Molekül ağırlıklarına göre bir karşılaştırma yapıldığında ise genel olarak molekül ağırlığının yükselmesine bağlı olarak daha berrak bir üst akım solüsyonu elde edildiği görülmüştür. Bahsedilen test koşullarında ve üst akım berraklık değerlerinin yüksek olduğu koşullarda, flokülant dozajının arttırılması ile AKM miktarlarının kabul edilebilir bir değere

ulaşabileceği öngörülmekle birlikte tüketim miktarının artacağı da göz önünde bulundurulmalıdır. Şekil 5.8’de test sonrası görseller verilmektedir;



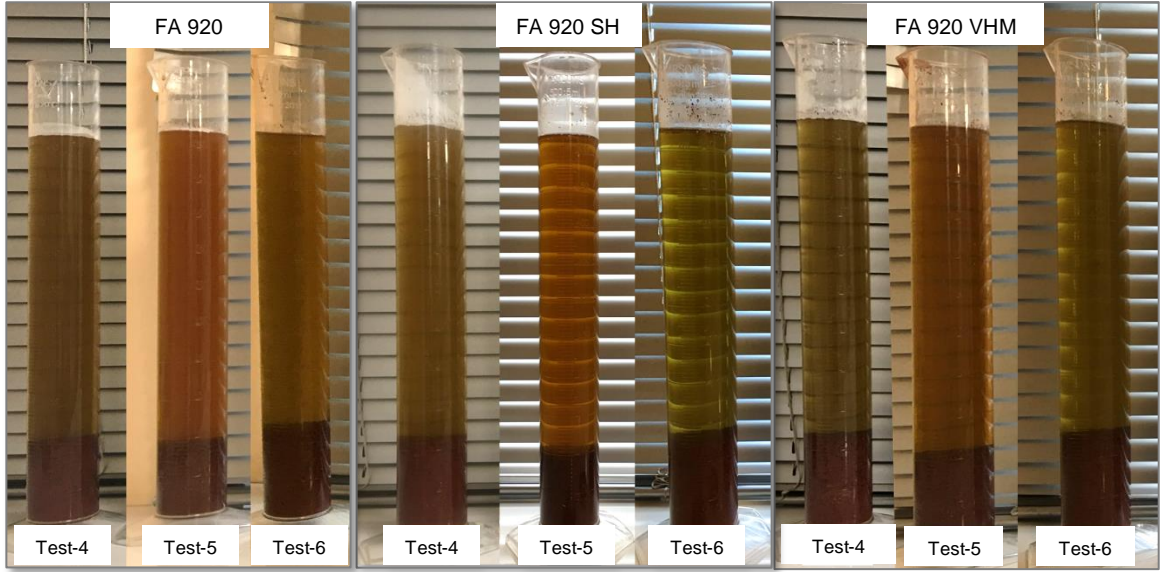
Şekil 5.8. Gördes Cevheri ile noniyonik flokülantların test sonu durumu



Şekil 5.9. Karaçam cevheri noniyonik flokülant ile üst akım berraklık değerleri

Karaçam cevherinde de aynı durum geçerli olup molekül ağırlıklarının yükselmesi ile daha berrak bir üst akım solüsyonunun meydana geldiği görülmektedir. Noniyonik flokülantların 4 ve 5 No’lu test sonuçlarında çok hızlı çökme süresine

bağlı olarak üst akım AKM değerlerinin biraz yüksek seyrettiği söylenebilir. Şekil 5.10.'da test sonrası görseller verilmektedir;



Şekil 5.10. Karaçam Cevheri ile noniyonik flokülantların test sonu durumu

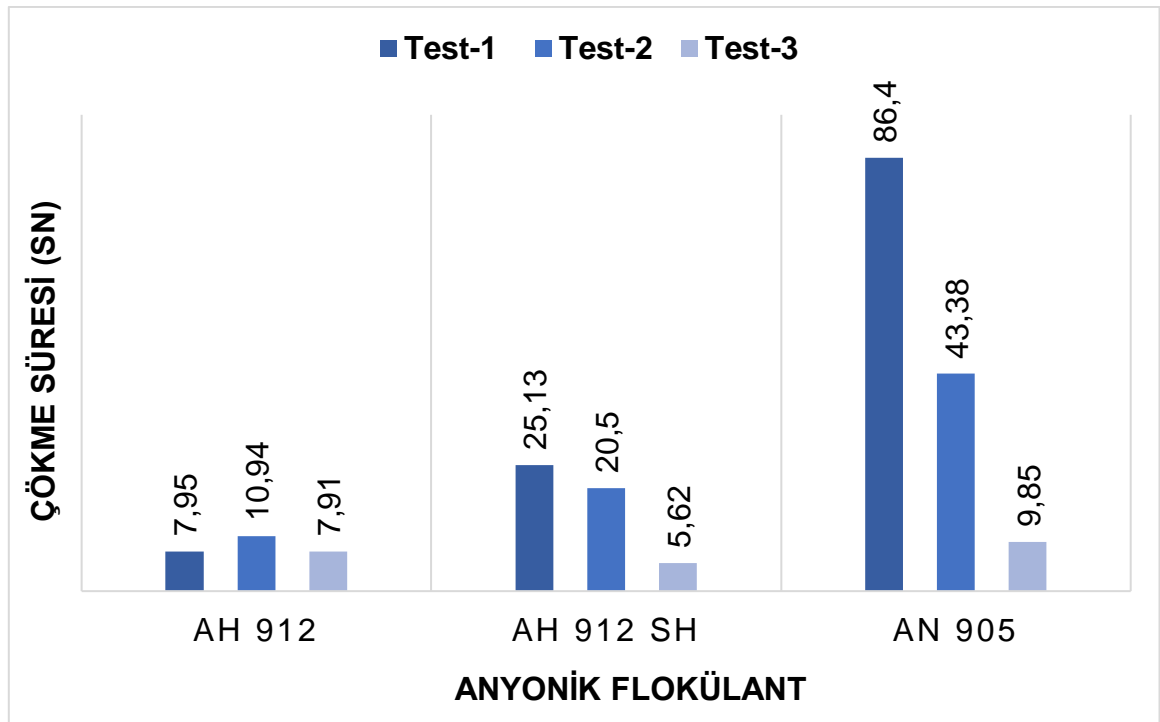
## 5.2. Anyonik Flokülantlar ile Yapılan Testler

Farklı molekül ağırlıkları ve anyonite derecelerine sahip anyonik flokülantlar ile yapılan çökme testleri sonucunda yalnızca düşük ve çok düşük anyonite derecelerine sahip flokülantlar değerlendirme kapsamına alınabilecek şekilde sonuçlar alınmıştır. Orta ya da yüksek anyonitedeki flokülantlar çamur ile etkileşime girmiş fakat çökme etkisini gösterecek floklaşma meydana gelmemiştir. Şekil 5.11'de bahsi geçen anyonitedeki flokülantlar ile test numunesinin etkileşimi gösterilmektedir;



Şekil 5.11. Orta ve yüksek anyonik flokülant ile oluşan görünüm

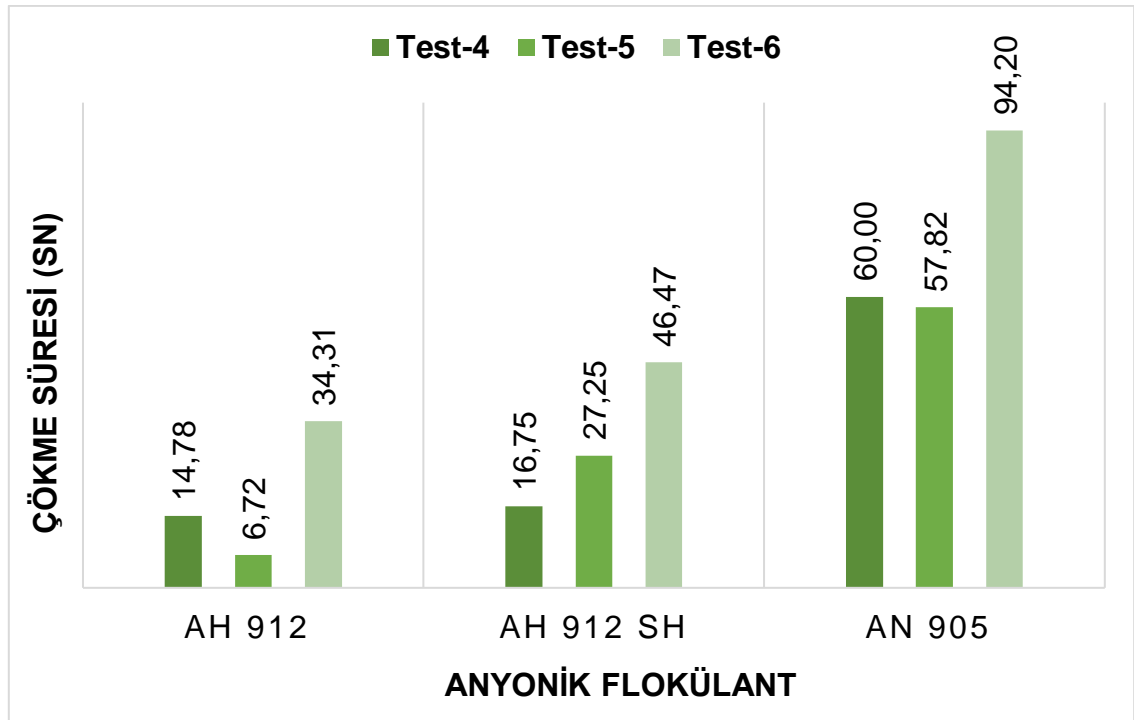
Şekil 5.12 ve 5.13'te Gördes ve Karaçam cevherlerinin çökme sürelerine ait değerler gösterilmektedir;



Şekil 5.12. Gördes cevheri anyonik flokülant ile çökme süreleri



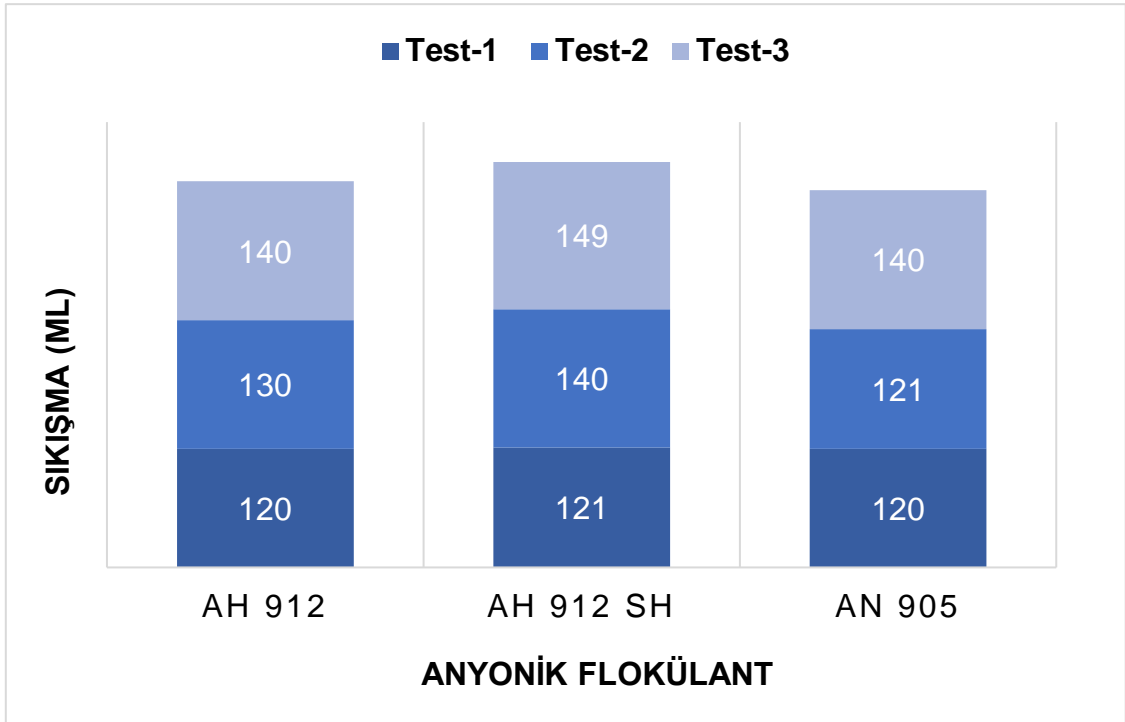
Sonuçlar incelendiğinde AH 912 flokülantı her test koşulunda hızlı çökme süresi sağlayarak olumlu sonuç vermiştir. Molekül ağırlığı daha yüksek olan AH 912 SH flokülantı ise AH 912 flokülantına göre daha yavaş sürede çökme sağlamış olup 3 No'lu test sonuçlarında çökme süresi bakımından büyük bir fark bulunmaktadır. Benzer durum AN 905 flokülantı için de söz konusudur; 1 ve 2 No'lu testlerde çok yavaş bir çökme performansı gösterdiği ancak 3 No'lu testte daha hızlı olduğu görülmüştür.



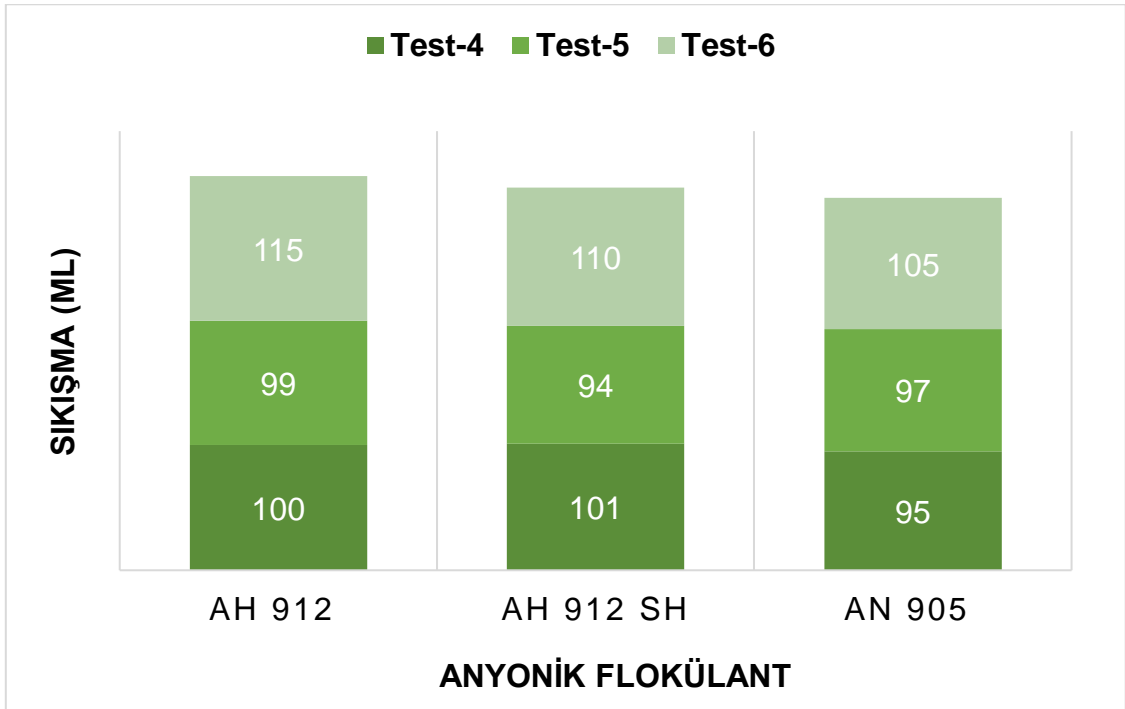
Şekil 5.13. Karaçam cevheri anyonik flokülant ile çökme süreleri

Karaçam cevheri için ise genel anlamda testler arasında birbirinden farklı ve tutarlı olmayan sonuçlar olduğu görülmüştür. AN 905 flokülantının çökme performansına etkisi tüm testlerde olumsuzdur. Sıkışma miktarı ya da berraklık açısından olumlu bir sonucu olsa bile, değerlendirme kapsamına alınmama açısından çökme süresi net bir fikir vermektedir. 6 No'lu testte tüm anyonik flokülantların çökme süresine olan etkisi diğer test sonuçlarına göre daha yavaş gerçekleşmiştir.

Değerlendirme kapsamında Gördes ve Karaçam cevherlerinin anyonik flokülant ile sıkışma miktarlarına ait değerler Şekil 5.14. ve Şekil 5.15.'te gösterildiği gibidir;



Şekil 5.14. Gördes cevheri anyonik flokülant ile sıkışma miktarları

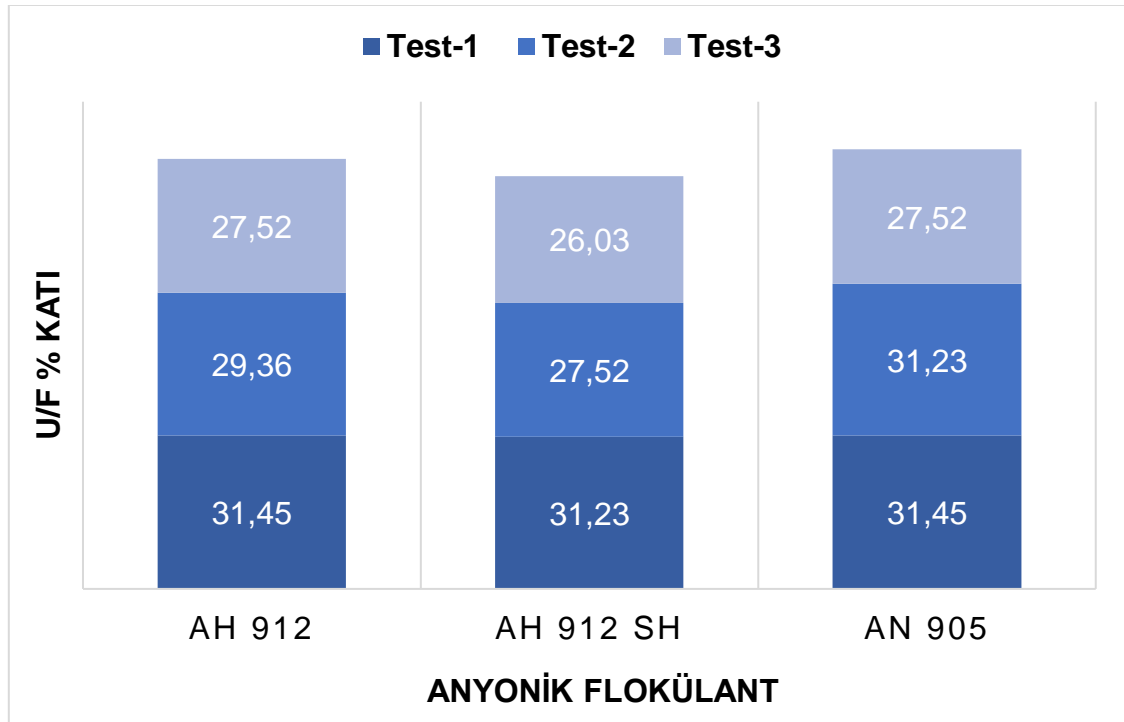


Şekil 5.15. Karaçam cevheri anyonik flokülant ile sıkışma miktarları

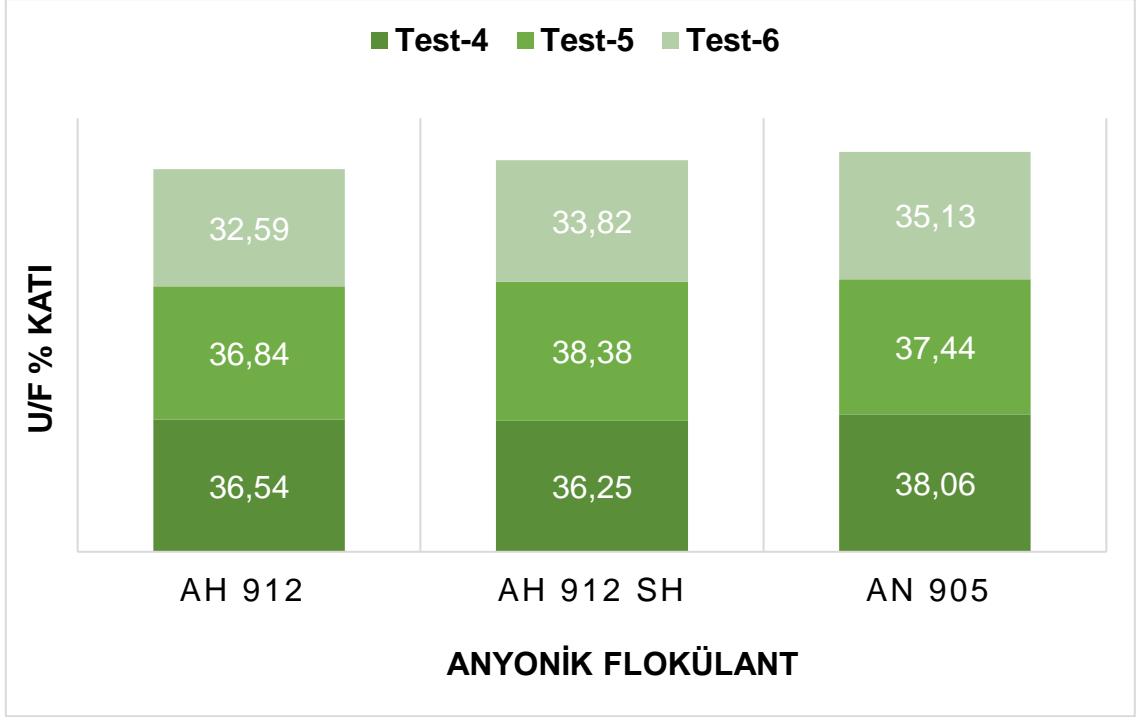
Gördes cevheri için AH 912 flokülantının sıkışma miktarı yalnızca 1 ve 2 No'lu testler için makul bir değerde gözükmemektedir. AH 912 SH flokülantının sıkışma miktarları ise 2 ve 3 No'lu testlerde yüksek seyretmiştir. AN 905 flokülantı 1 ve 2

No'lu test sonuçlarında uygun sıkışma miktarlarında sonuç vermiştir. Çökme süresinin çok yavaş olması ve bulanık bir üst akım solüsyonuna (Şekil 5.18.) sahip olması bu sonucun meydana gelmesine sebep olmuştur.

Karaçam cevheri ise Gördes cevheri ile kıyaslandığında noniyonik flokülantlarda olduğu gibi anyonik flokülantlarda da sıkışma miktarı tüm testler için olumlu sonuç vermiştir. AKM miktarları göz önünde bulundurulduğunda (Şekil 5.19.) üst akım solüsyonundaki AKM miktarı yüksek sonuç veren flokülantlar için sıkışma miktarının kabul edilebilir değerlerde olmasını açıklamaktadır. Bir başka deyişle ince tanelerin askıda kalması sebebi ile çöken katı miktarı az olmakta ve sıkışma miktarı değeri makul gözükmemektedir. Şekil 5.16 ve 5.17'de anyonik flokülantlar ile meydana gelen tikiner alt akımı kütlece katı oranı değerleri gösterilmektedir;

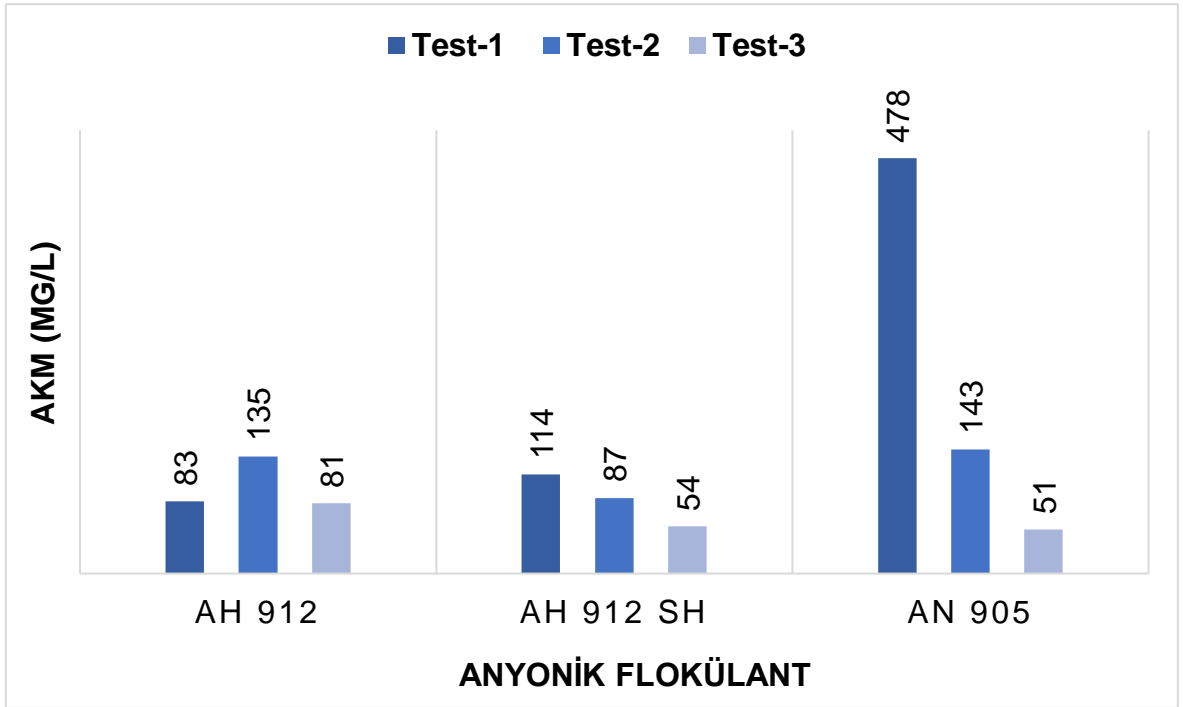


Şekil 5.16. Gördes cevheri anyonik flokülant ile alt akım katı oranı değerleri

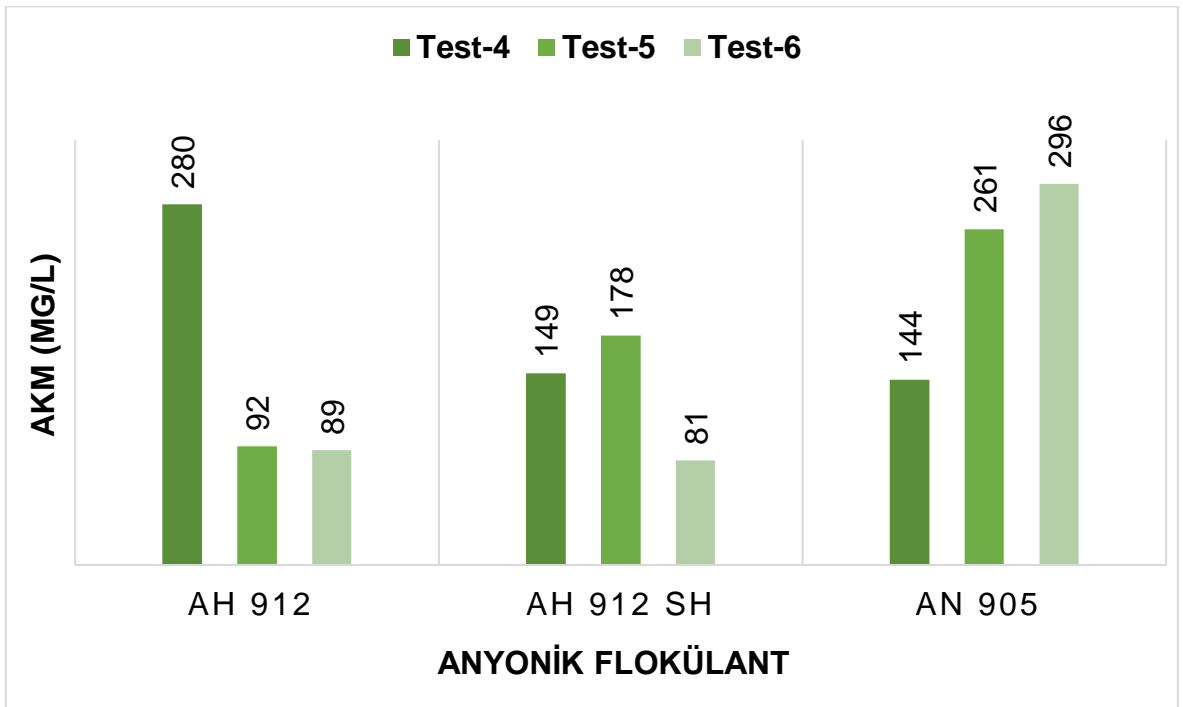


Şekil 5.17. Karaçam cevheri anyonik flokülant ile alt akım katı oranı değerleri

Noniyonik flokülantlar ile benzer özellik göstererek, anyonik flokülantların Gördes cevheri için oluşturduğu tikiyer alt akım kütlece katı miktarı stabil ve olumlu bir sonuç vermemiş, Karaçam cevheri için ise genel anlamda başarılı olmuştur. Ancak daha önce de bahsedildiği üzere oluşan katı yüzdelerinin berraklık ve çökme süresi de göz önünde bulundurularak değerlendirilmesi daha uygun olacaktır. Şekil 5.18 ve 5.19'da Gördes ve Karaçam cevherlerinin üst akım solüsyonu AKM değerleri gösterilmektedir;



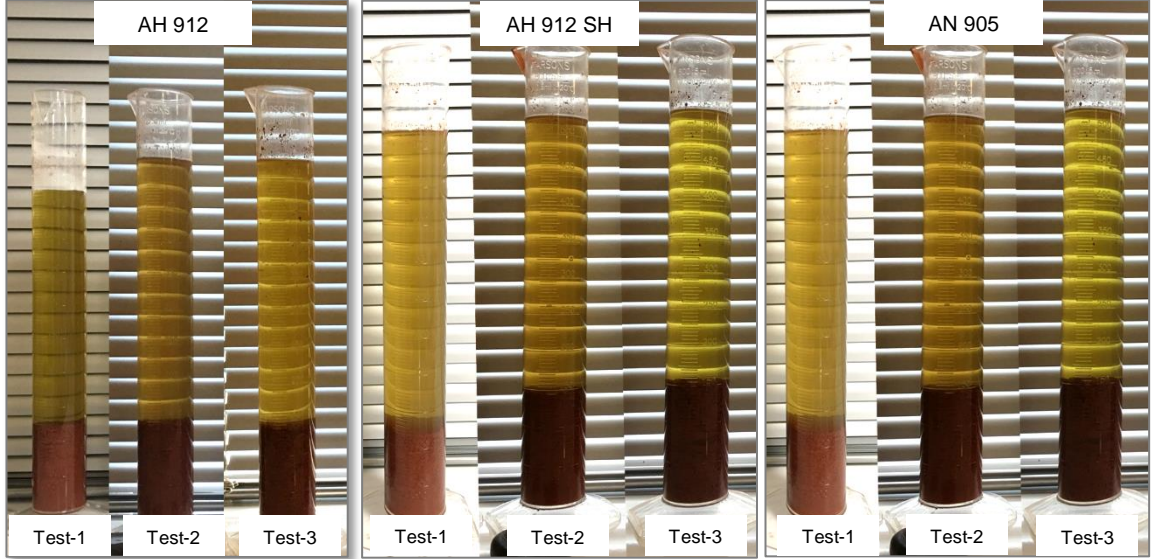
Şekil 5.18. Gördes cevheri anyonik flokülant ile üst akım berraklık değerleri



Şekil 5.19. Karaçam cevheri anyonik flokülant ile üst akım berraklık değerleri

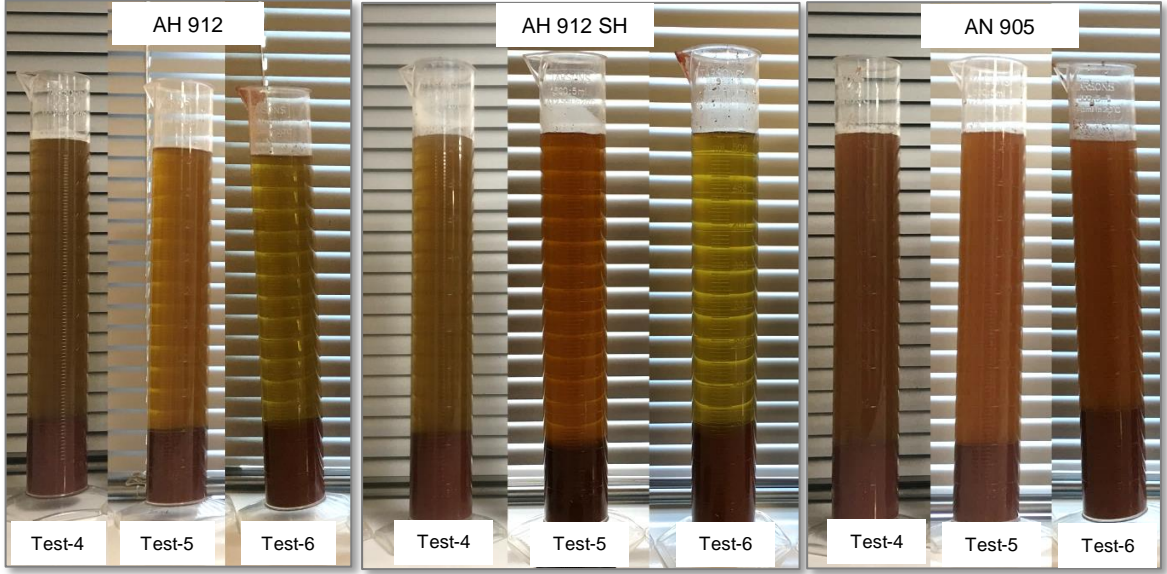
Gördes cevheri için AH 912 ve AH 912 SH flokülantlarının AKM değerleri tüm testlerde düşük seyretmiş olup çökme süresi ve sıkışma miktarından bağımsız olarak olumlu bir sonuç vermiştir. AN 905 flokülantı ise 1 No'lu testte çökme

süresinin yavaş olması kaynaklı üst akım solüsyonu AKM değerinin yüksek olduğu görülmüştür. Şekil 5.20.'de test sonrası görseller verilmektedir;



Şekil 5.20. Gördes Cevheri ile anyonik flokülantların test sonu durumu

Karaçam cevherinde ise, AH 912 flokülantının 4 No'lu test sonuçlarında optimum değerlerde çökme sağlamış olmasına rağmen AKM miktarının yüksek olması flokülant dozajının artırılması gerektiğine işaret etmektedir. AH 912 SH flokülantı ise 6 No'lu test sonuçlarında çökme hızının yavaş olması sebebi ile ince tanelerin askıda kalmasını engelleyip daha iyi bir berraklık sonucu vermiştir. AN 905 flokülantı ile tüm testlerde etkin bir flokülasyonun meydana gelmemesi sonucu çökme çok yavaş gerçekleşmiş ve dolayısıyla berrak bir solüsyon elde edilemediği görülmüştür. Şekil 5.21'de test sonrası görseller verilmektedir;

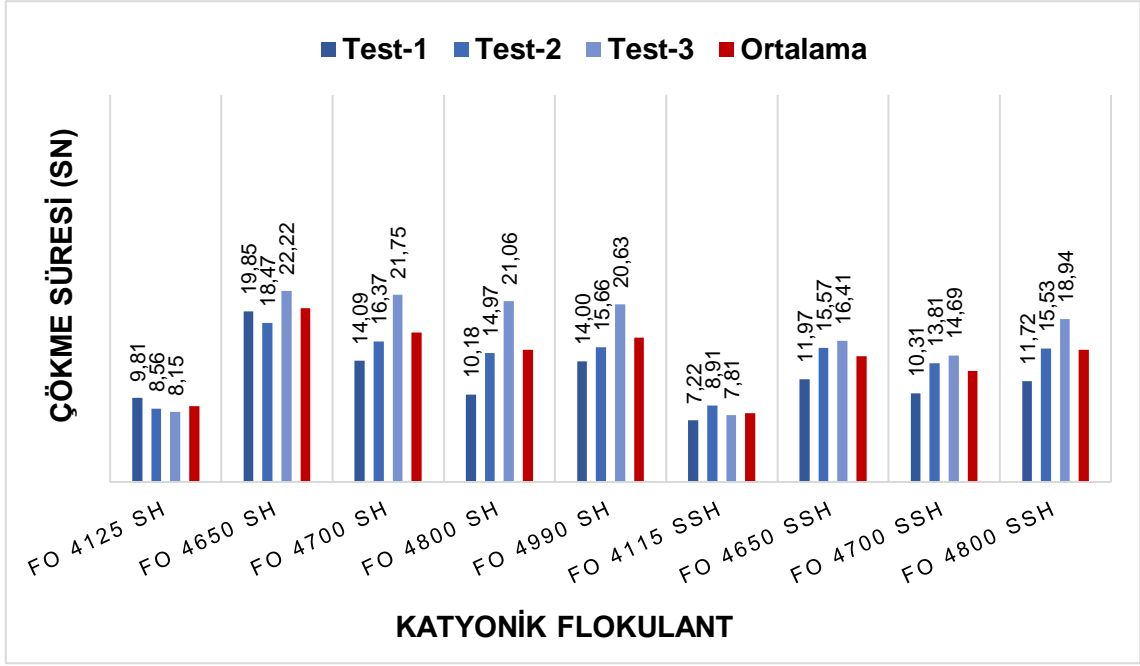


Şekil 5.21. Karaçam Cevheri ile anyonik flokülantların test sonu durumu

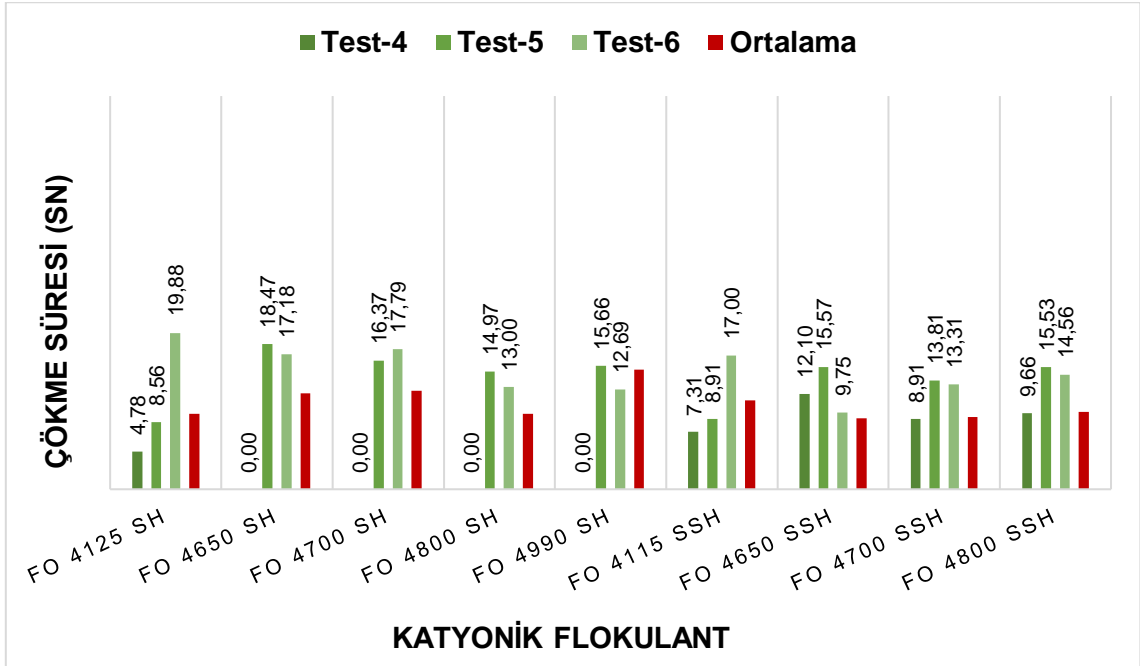
### 5.3. Katyonik Flokülant ile Yapılan Testler

Çeşitli katyonite derecelerine sahip katyonik flokülantlar ile yapılan testler sonucunda, çökme süresi genel anlamda hızlı olan flokülantlar değerlendirme kapsamına alınmıştır. Katyonik flokülantlar ile yapılan çalışmada, flokülantların depolama ve bekleme süresinin çok kısa olduğu ve çok hızlı bozunmaya uğrayarak çökme performansını olumsuz etkilediği gözlemlenmiştir.

Gördes cevheri çökme süresi sonuçları incelendiğinde değerlendirme kapsamına alınan tüm flokülantların çöktürme sürelerinin birbirine yakın ve makul değerlerde olduğu görülmüştür. Aynı durum Karaçam cevheri için de gözlenmiştir ancak orta molekül ağırlıklı ve çok yüksek katyonik özelliklere sahip flokülantların 4 No'lu testte çökme etkisi yaratmadığı, diğer testlerde ise başarılı sonuç verdiği görülmüştür. Öte yandan testler arasında çökme süresi bakımından farklar olduğu da belirlenmiştir. Şekil 5.22 ve 5.23'de her iki cevher türü için gerçekleşen çökme süreleri verilmiştir;



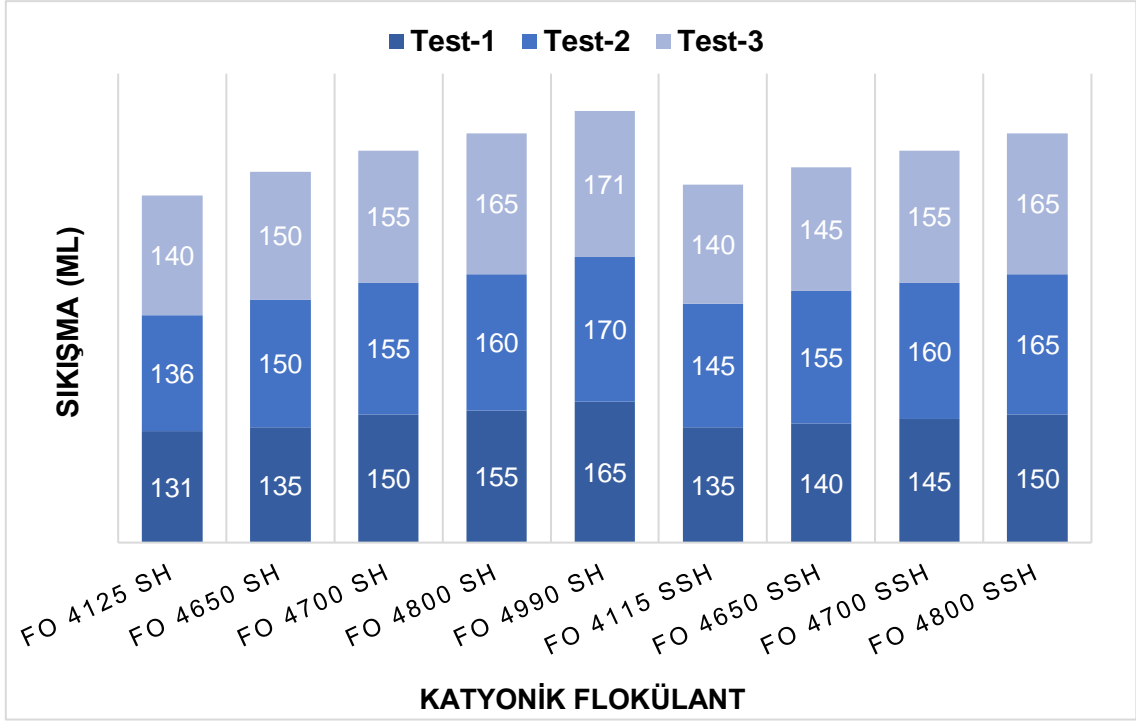
Şekil 5.22. Gördes cevheri katyonik flokulant ile çökme süreleri



Şekil 5.23. Karaçam cevheri katyonik flokulant ile çökme süreleri

Çökme süreleri genel olarak olumlu sonuç vermiş olsa da özellikle Gördes cevherinde meydana gelen sıkışma miktarı değerleri çok yüksek seyretmiştir. Sıkışma miktarına ait değerler Şekil 5.24 ve 5.25’de gösterildiği gibidir;

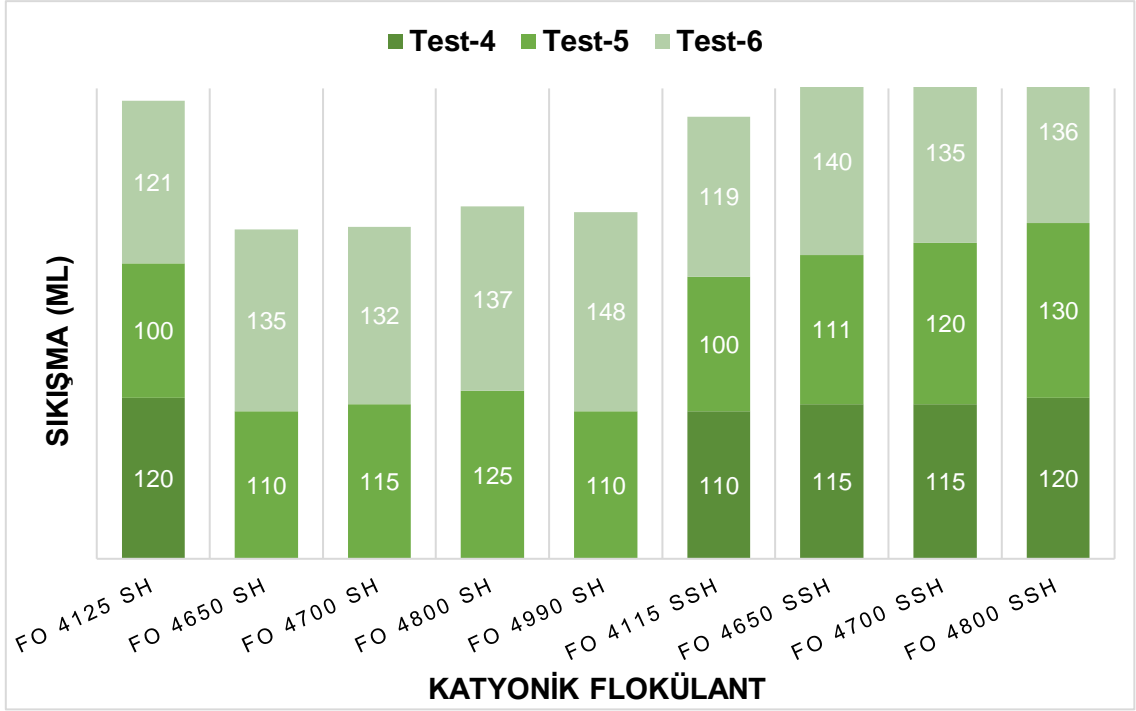




Şekil 5.24. Gördes cevheri katyonik flokülant ile sıkışma miktarları

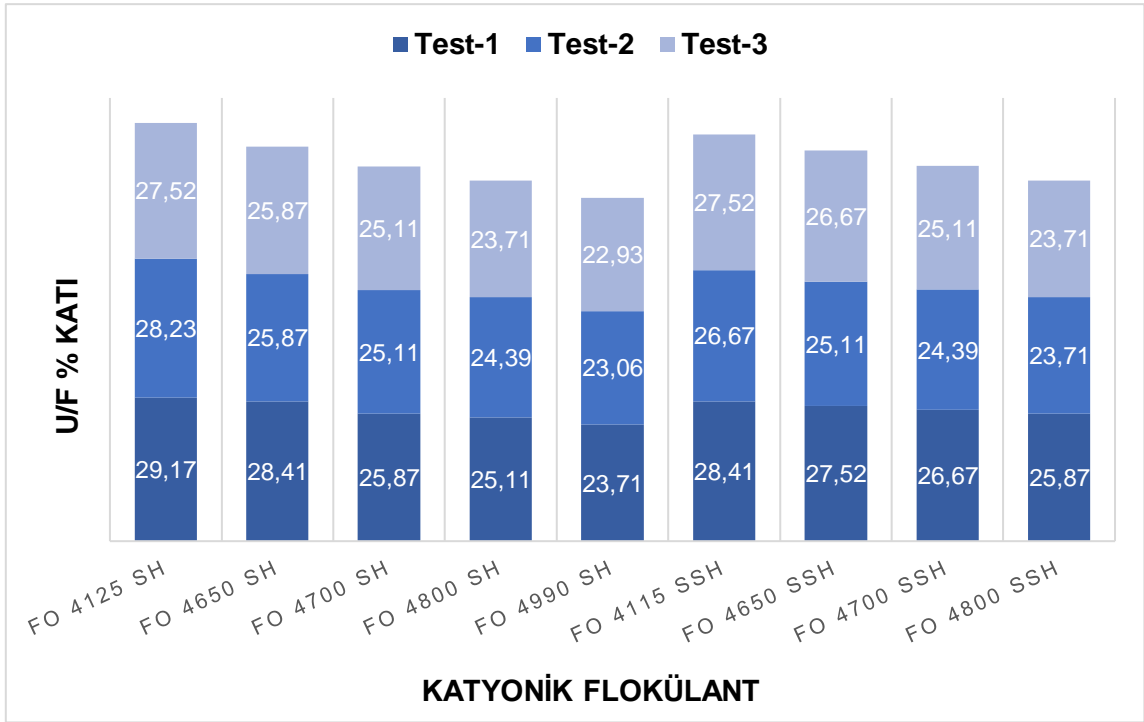
Test esnasında, flokülant dozajlaması sonrası oluşan floklaşma çok iri boyutta olduğundan dolayı, çöken malzeme arasındaki boşlukların fazla olduğu ve böylece sıkışmanın çok fazla olmadığı gözlemlenmiştir.

Karaçam cevherinde ise 4 ve 5 No'lu test sonuçlarının olumlu sonuçlar verdiği ancak 6 No'lu test sonuçlarında düşük katyonite derecesine sahip flokülantlar dışında kalan diğer flokülantların sıkışma miktarlarının yüksek olduğu görülmüştür. Karaçam cevherine ait sıkışma miktarları Şekil 5.25'de gösterilmektedir;

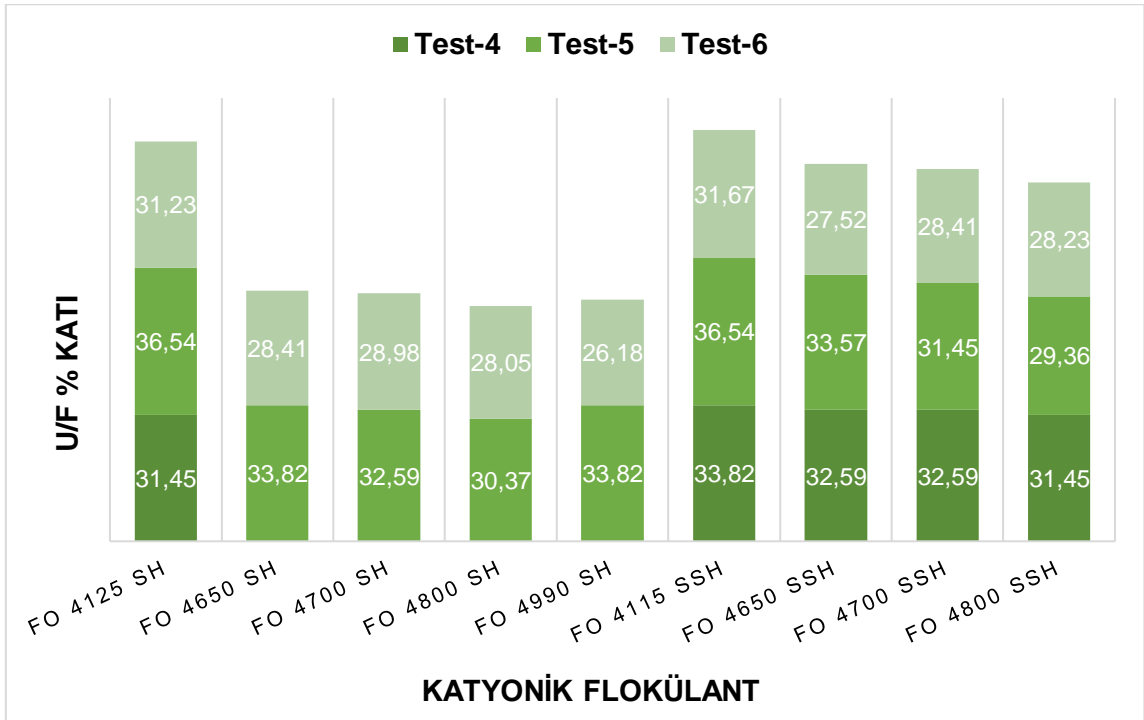


Şekil 5.25. Karaçam cevheri katyonik flokülant ile sıkışma miktarları

Gördes cevheri için tikiner alt akım katı oranları %30 değerinin altında kalmış, çökme ve CCD proses performansı için olumsuz bir durum oluşturmuştur. Karaçam cevherinde ise meydana gelen sonuçlar tutarlı olmamakla birlikte %30 ve üzeri değerler elde edilmiştir. Ancak sonuçların bir sürekliliğinin olmaması performans anlamında kesin bir yargı oluşmasına engel olmaktadır. Her iki cevhere ait sıkışma miktarları üzerinden hesaplanan tikiner alt akım kütlece katı oranı değerleri Şekil 5.26 ve 5.27’de gösterildiği gibidir;

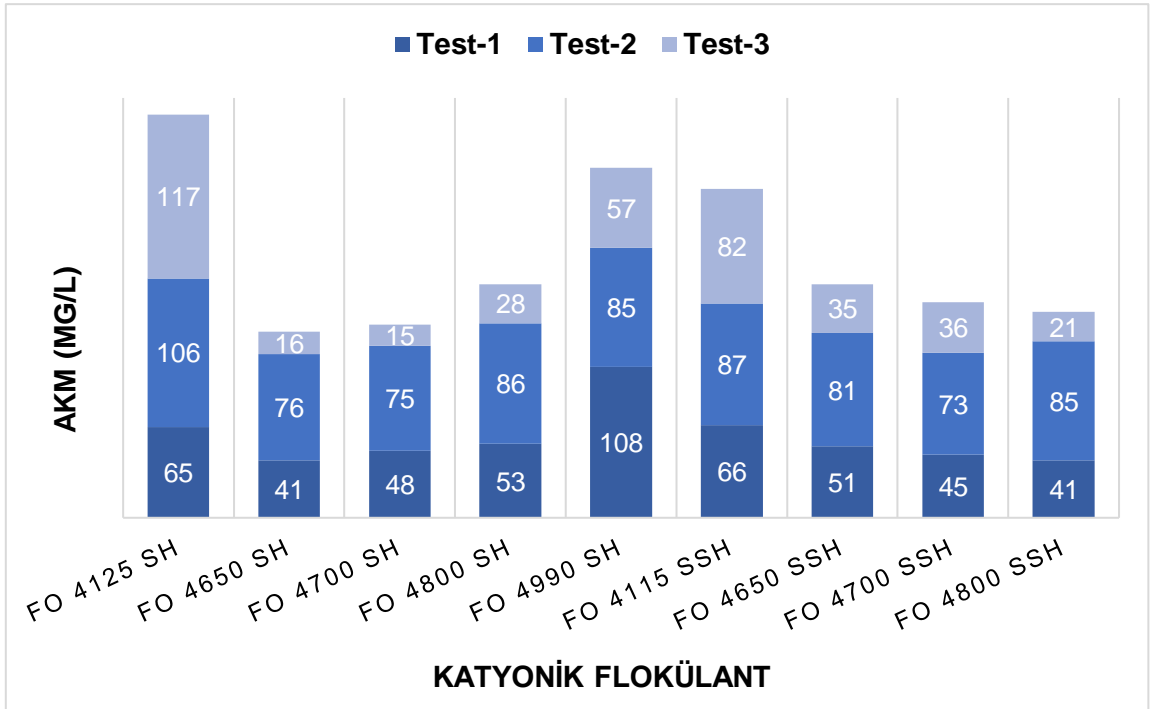


Şekil 5.26. Gördes cevheri katyonik flokülant ile alt akım katı oranı değerleri

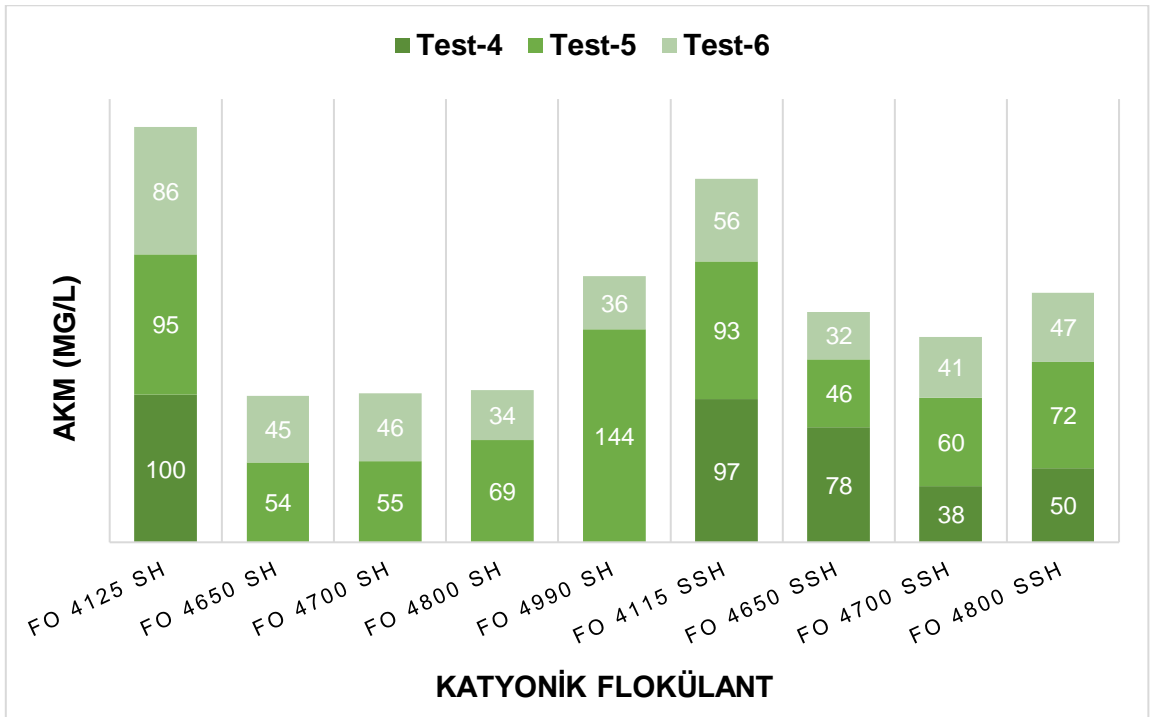


Şekil 5.27. Karaçam cevheri katyonik flokülant ile alt akım katı oranı değerleri

Performans değerlendirmesi kapsamında son olarak AKM değerleri incelenmiştir. Şekil 5.28. ve 5.29'da Gördes ve Karaçam cevherlerinin AKM değerleri gösterilmektedir;



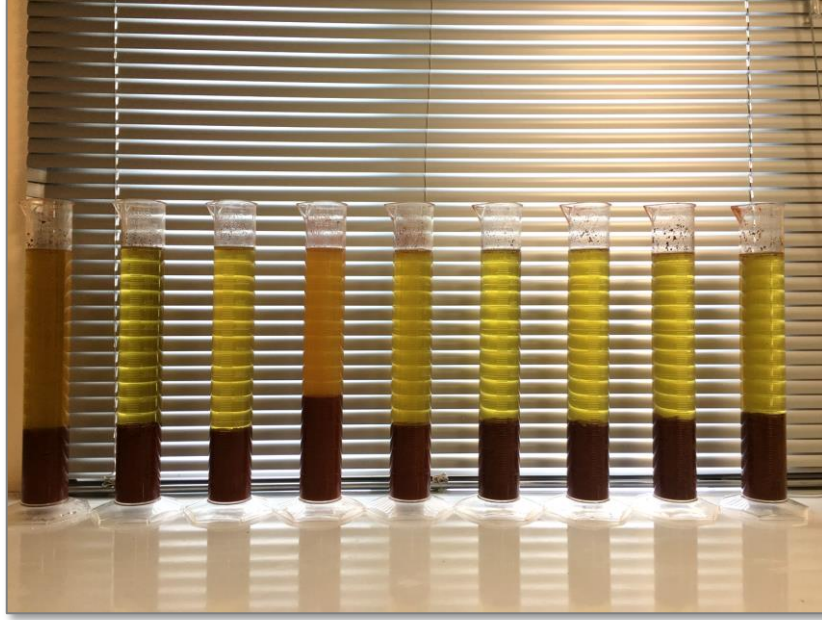
Şekil 5.28. Gördes cevheri katyonik flokülant ile üst akım berraklık değerleri



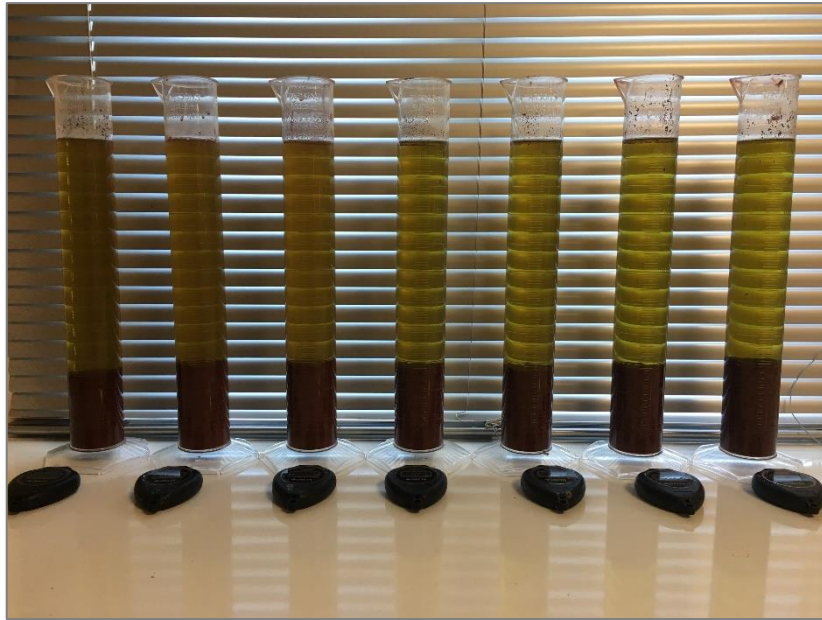
Şekil 5.29. Karaçam cevheri katyonik flokülant ile üst akım berraklık değerleri

Tüm flokülantların üst akım berraklık değerleri incelendiğinde tüm testlerde AKM değerleri düşük ve tercih edilecek değerlerde seyretmiştir. 100 mg/L AKM ve altında sonuç veren flokülantlar için dozaj kısıtlaması söz konusu olabilir, ancak

Çökme süresini etkileyeceği ve sıkışma miktarı için daha olumsuz bir sonuç oluşturabileceği de göz önünde bulundurulmalıdır. şekil 5.30 ve 5.31'de test sonrası görseller verilmektedir;



şekil 5.30. Gördes Cevheri ile katyonik flokülantların test sonu durumu



şekil 5.31. Karaçam Cevheri ile katyonik flokülantların test sonu durumu

Her iki cevher için, tüm flokülantların performans parametrelerine göre durumlarını gösteren özet tablo Çizelge 5.3.'teki gibidir;

Çizelge 5.3. Özet performans tablosu

Flokülant	Tür	Molekül Ağırlığı	GÖRDES			KARAÇAM		
			Çökme Süresi	Berraklık	Sıkışma	Çökme Süresi	Berraklık	Sıkışma
FA 920	Noniyonik	Orta	✓	x	✓	✓	✓	✓
FA 920 SH	Noniyonik	Yüksek	✓	✓	✓	✓	✓	✓
FA 920 VHM	Noniyonik	Çok Yüksek	✓	✓	x	✓	✓	✓
AH 912	Anyonik	Orta	✓	✓	✓	✓	✓	✓
AH 912 SH	Anyonik	Yüksek	✓	✓	x	✓	✓	✓
AN 905	Anyonik	Orta	x	x	✓	✓	x	✓
FO 4125 SH	Düşük Katyonik	Orta	✓	✓	x	✓	✓	✓
FO 4650 SH	Çok Yüksek Katyonik	Orta	✓	✓	x	✓	✓	✓
FO 4700 SH	Çok Yüksek Katyonik	Orta	✓	✓	x	✓	✓	✓
FO 4800 SH	Çok Yüksek Katyonik	Orta	✓	✓	x	✓	✓	✓
FO 4990 SH	Çok Yüksek Katyonik	Orta	✓	✓	x	✓	✓	✓
FO 4115 SSH	Düşük Katyonik	Yüksek	✓	✓	x	✓	✓	✓
FO 4650 SSH	Çok Yüksek Katyonik	Yüksek	✓	✓	x	✓	✓	✓
FO 4700 SSH	Çok Yüksek Katyonik	Yüksek	✓	✓	x	✓	✓	✓
FO 4800 SSH	Çok Yüksek Katyonik	Yüksek	✓	✓	x	✓	✓	✓

## 6. YORUMLAR VE TARTIŞMA

Çalışmanın bu kısmında Gördes ve Karaçam cevherlerine yapılan çökme testleri sonucunda elde edilen bulguların değerlendirilmesi yapılacaktır. Testlerin gerçekleştirileceği optimum çamur katı yüzdesi ve flokülant dozajını belirlemek amacıyla yüksek molekül ağırlıklı noniyonik bir flokülant ile yapılan ön testler sonucunda her iki cevher için aynı sonuçlar alınmış olup çamur katı oranı %7 ve dozaj ise 850 g/t olarak belirlenmiş ve tüm testler bu iki koşul yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde değerler %5 katı oranı açısından da olumlu görünse de çökme oranı çok hızlı olduğundan dolayı tercih sebebi olmamıştır. Mevcut tikiner dizaynı ve tesis kapasitesi göz önünde bulundurulduğunda, çok hızlı bir çökme oranının, tikiner alt akım çıkışının yeterli olmaması sonucu tikiner içerisinde akümülyasyonun meydana gelmesine ve sistem dengesinin bozulmasına neden olması mümkündür. Tüm testlerdeki çökme süresi bu durum dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

Flokülant dozajının belirlenmesi hususunda ise 850 g/t ve 1130 g/t birbirine çok yakın sürelerde çökme sağlamışlardır. Bu noktada tüketim miktarı esas alınarak 850 g/t optimum değer olarak kabul edilmiştir.

Gördes cevheri ile yapılan çökme testlerinde noniyonik flokülantların çökme hızı orta ve yüksek molekül ağırlıklarında makul seviyelerde seyretmiş ancak çok yüksek molekül ağırlıklı noniyonik flokülant ile çok hızlı bir çökme oranı göstermiştir. Bu durum yalnızca 2. Test için bir istisna oluşturmaktadır. Flokülant uygulamalarının çoğunda daha yüksek molekül ağırlığı daha iyi bir etkinlik ile sonuçlanır. Bununla birlikte, artan molekül ağırlığı belli bir noktadan sonra etkinliğini kaybedebilir. Yüksek molekül ağırlıklı flokülantlar genellikle daha viskoz bir yapıya sahiptir ve süspansiyon içerisinde kolayca dağılmazlar. Adsorpsiyon çok hızlı ve genellikle geri döndürülemez olduğu için, aktivitede bir kayıp meydana gelir. Artan moleküler ağırlıkla birlikte, ağırlık birimi başına polimer zincirlerinin sayısı da azalır. Yüksek katı oranına sahip bir çamur içerisindeki tüm katıların floküle olmasına yetecek kadar flokülant molekülü olmayabilir. Bu faktörler flokülant performansını etkileyebilir [40].

Orta ve yüksek molekül ağırlıklı noniyonik flokülantların üst akım solüsyon berraklıkları özellikle katyonik flokülantlar ile karşılaştırıldığında düşük değerlere sahiptir. Oluşan flok boyutlarının ise küçük bir yapıya sahip olduğu gözlemlenmiştir. Berraklık ve sıkışma miktarlarının düşük olmasının ana sebebi olarak bu durum görülmektedir. Çok yüksek molekül ağırlığındaki FA 920 VHM flokülantının oluşturduğu flok boyutlarının büyük olması sebebi ile çökme hızı özellikle 1 ve 3 No'lu testlerde yüksek gerçekleşmiş ve dolayısıyla sıkışma durumu iyi sonuç vermemiştir.

Anyonik flokülantlarda ise yalnızca çok düşük anyoniteye sahip (noniyoniğe yakın) olan flokülantlar iyi sonuç vermiştir. İyonite ya da molekül ağırlıklarının yükselmesine bağlı olarak gelişen bir flokülasyon olayı gözlemlenmemiştir. Yalnızca görsel olarak katı taneler ve flokülantlar arasında bir etkileşim olduğu fakat çökme durumuna herhangi bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir. pH 4 ve daha düşük pH'larda noniyonik flokülantlar en iyi performansı gösterirler. Bu pH aralığında anyonik flokülantlar, noniyonik flokülant gibi sarılım yaparlar ancak aktiviteleri çok azdır. Bunun nedeni noniyonik flokülantlarda yer alan amid gruplarının, düşük pH'larda flokülant yapısında mevcut olan hidrojen bağlanma alanlarının sayısını azaltan atıl karboksil grupları ile yer değiştirmesidir. Böylece herhangi bir iyoniteye sahip olmayan flokülantlar daha düşük bir pH aralığında daha iyi performans gösterirler [40]. Bu durum da çok düşük anyonik flokülantın flokülasyon oluşturmasını ancak iyonitenin artması ile herhangi bir etki göstermemesini açıklamaktadır.

Anyonitenin artmasıyla birlikte flokülasyonun olumsuz etkilenmesi AN 905 flokülantının 1. ve 2. Testlere göre çökme süresi sonuçları ile açıkça görülmektedir. Fakat 3. Test sonucunda hızlı çöktürme sağlayarak istisnai bir durum ortaya koymuştur.

Katyonik flokülant ile yapılan testler değerlendirildiğinde düşük ve çok yüksek katyonik flokülantlar olumlu sonuç vermiştir. Orta derecede katyonik flokülantlar çok kısa sürede hidrolize olmaları sebebi ile yapılan testlerde çok zayıf floklaşma göstererek yavaş bir çöktürmeye neden olmuş ya da çamur üzerinde herhangi bir etki gösterememiştir. Düşük ve çok yüksek katyonik flokülantlar çökme süresi ve



berraklık parametrelerine göre çok iyi sonuçlar vermiştir. Ancak özellikle çok yüksek molekül ağırlığındaki flokülantlar ile oluşan flok boyutlarının çok büyük olması sonucu gereken sıkışma miktarına ulaşamamıştır.

Karaçam cevheri ile yapılan çalışmalarda çoğunlukla Gördes cevherine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Orta ve yüksek molekül ağırlıklarındaki noniyonik flokülantlar ile genel anlamda hızlı bir çöktürme sağlanmış bu sebepten dolayı da çok berrak bir solüsyon elde edilememiştir. Molekül ağırlıkları ile oluşan flok büyüklükleri arasında yüksek molekül ağırlığındaki flokülantın büyük flok oluşturduğu direkt bir ilişki bulunmaktadır [41]. Çökme oranı ve berraklık parametrelerinin flok yapısından etkilenme gibi bir durumu bulunsa da birincil olarak flok boyutu ile ilgilidir. Düşük berraklığı beraberinde getiren hızlı çökme oranı genellikle zayıf flokülasyon ile meydana gelen iki şekilli flok boyutu ve özellikle de yüksek molekül ağırlıklı flokülantların uygulanmasından önce yeterli destabilizasyonu sağlamadaki başarısızlık ile bağlantılıdır [30]. Öte yandan, 6. Test için optimum performans koşullarının meydana geldiği söylenebilir. Sıkışma miktarları ise tüm noniyonik flokülantlar açısından makul değerlerdedir.

Karaçam cevherinde de çok düşük iyoniteye sahip anyonik flokülantlar olumlu sonuç göstermiş fakat 6. Test sonuçlarında çökme oranları bir hayli yavaşlama göstermiştir. Anyonitenin ve molekül ağırlıklarının artması ile yine etkin bir flokülasyon oluşmadığı görülmüştür.

Karaçam cevheri için katyonik flokülantların sonuçları değerlendirildiğinde; 4. Test için orta molekül ağırlığında ve çok yüksek katyonik flokülantların çökmeye herhangi bir etkisi olmamış fakat diğer testlerde gayet iyi bir performans göstermiştir. Öte yandan genel anlamda bakıldığında katyonik flokülantların tüm parametrelere göre başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Her ne kadar çok hızlı çökme oranı değerlerine sahip olsa da berraklık ve sıkışma miktarları tüm testler için çok iyi sonuç vermiştir. Bu sonuçlara dayanarak katyonik flokülantlar için dozaj kısıtlaması mümkün görünmektedir.

Her iki cevher için tüm testlerin genel anlamda değerlendirilmesi yapıldığında; çökme süresi, berraklık ve sıkışma gibi performans kriterlerine göre ve aynı

zamanda yüksek anyonik ve katyonik türdeki flokülantlara göre en tutarlı ve olumlu sonuçları noniyonik flokülantlar ile çok düşük anyonik flokülantların gösterdiği tespit edilmiştir.

Tesise beslenen cevher mineralojisinin çok değişken, proses kontrol edilebilirliğinin zor ve aynı zamanda sistem içerisinde sürekli olarak anlık değişimlerin olması aynı tip flokülantlar ile yapılan test sonuçlarının zaman zaman farklı çıkmasına neden olmuştur. Öte yandan, çökme testi yapılacak tesis numuneleri canlı akış üzerinden alınarak tesis şartlarını birebir yansıtması amaçlanmış ve mevcut pH ve potansiyel değerlerini değiştirecek veya belli bir değere sabitleyecek herhangi bir reaktif kullanılmamıştır. Bu sebeple testlerin çalışma şartları arasında bulunan pH, potansiyel ve elementel içerik farklarının da flokülantların adsorbsiyon mekanizmasını değiştirerek testlerin stabil sonuçlar doğurmasını engellediği düşünülmektedir. Katı yüzey özelliklerine göre çalışmanın detaylandırılması ve aynı zamanda farklı yüklere sahip flokülantların karışım olarak dozajlama yapılması halinde olumsuz olan performans parametreleri için olumlu sonuç elde edilebilmesi mümkün görünmektedir.

## 7. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, Gördes ve Karaçam cevherlerinin, farklı molekül ağırlıkları ve iyoniteye sahip anyonik, katyonik ve noniyonik flokülantlar ile, yüksek basınçlı asit liçi prosesi sonrası yüklü solüsyonun katı fazdan ayrılması ve katı taneler üzerinden yıkanarak kazanılması için tasarlanan CCD prosesindeki çökme davranımının incelenmesi yapılmıştır. Yapılan testler ve inceleme sonrası elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmaktadır;

- Flokülasyonun gerçekleşeceği optimum çamur katı oranının %7, flokülant dozajının ise 850 g/t olduğu tespit edilmiştir.
- Her iki cevher birlikte değerlendirildiğinde noniyonik ve çok düşük anyonik flokülantlar başarılı bir performans göstermiştir.
- Çok düşük anyoniteye sahip anyonik flokülantlar olumlu sonuç vermiş ancak molekül ağırlığı ve anyonite değeri yükseldikçe etkin bir flokülasyon olayı gerçekleşmemiştir.
- Katyonik flokülantlar ile berraklık değerleri çok iyi sonuç vermiş ve genel olarak hızlı bir çöktürme sağlamışlardır. Bu sebeple özellikle yüksek molekül ağırlıklı katyonik flokülant kullanımı ile tüketim miktarının azaltılabileceği öngörülmektedir. Ancak sıkışma miktarlarının da göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Katyonik flokülantlar Gördes cevherinde meydana getirdiği düşük katı oranları sebebi ile tercih sebebi olmamaktadır.
- Gördes cevherine kıyasla Karaçam cevheri için alt akım katı oranı değerleri çoğunlukla hedeflenen değerlerde seyretmiştir.
- Cevher içeriğinin stabil bir yapıda olmaması ve proses içerisinde anlık değişimlerin meydana geldiği birçok parametrenin mevcut olmasının bir sonucu olarak çökme davranımlarının değişkenliğe açık olduğu kanısına varılmıştır.
- pH ve potansiyel değerlerinin flokülasyon karakteristiğine doğrudan bir etkisi olduğu açıkça tespit edilmese de, değişkenliklerin test sonuçları arasında farklılıklar yarattığı sonucuna varılmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] Bunjaku, A., Holappa, E.L., Kekkonen, M., Thermodynamic Properties of Nickel Laterite Ores, Helsinki University of Technology - Publications in Materials Science and Engineering, Espoo, **2009**.
- [2] Habashi, F., Handbook of Extractive Metallurgy Volume I: The Metal Industry, Wiley-VCH, Weinheim, **1997**.
- [3] Properties of Nickel <https://www.nickelinstitute.org/about-nickel/properties-of-nickel/> (Erişim tarihi: **15 Kasım 2018**).
- [4] Haldar, S.K., Platinum-Nickel-Chromium Deposits Geology: Exploration and Reserve Base, Elsevier, Amsterdam, Chapter 1, **2016**.
- [5] Crundwell, F.K., Extractive Metallurgy of Nickel, Cobalt and Platinum Group Metals, Elsevier, Amsterdam, Chapter 1, **2011**.
- [6] Statista, Major countries in worldwide nickel mine production from 2010 to 2018 (in metric tons), <https://www.statista.com/statistics/264642/nickel-mine-production-by-country/> (Erişim tarihi: 5 Eylül 2019)
- [7] TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Nikel Raporu, Ankara, **2012**.
- [8] Nickel Institute, Where Why Nickel Is Used? <https://www.nickelinstitute.org/NickelUseInSociety/AboutNickel/WhereWhyNickelsUsed.aspx> (Erişim tarihi: **17 Kasım 2018**).
- [9] Robb, L., Introduction to Ore-Forming Processes, Blackwell, Chapter 4, **2005**.
- [10] Tufan, E.A., Ni Lateritlerin Oluşumu ve Özellikleri, BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 16(2) 68-78, **2014**.
- [11] Dalvi, A.D., Bacon, W.G., Robert, M., Osborne, C., The Past and the Future of Nickel Laterites, PDAC 2004 International Convention, Trade Show & Investors Exchange March 7-10 2004, Canada, **2004**.
- [12] Brand, N.W., Butt, C.R.M., & Elias, M., Nickel Laterites: Classification and Features, AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics, 17(4),81-88, Australia, **1998**.
- [13] Matkovic, V., Vuckovic, N., Sokic, M., Stojanovic, J., Markovic, B., Investigation of Selective Leaching Process of Nickel Silicate Ore From the Deposit "Rudinci" Proceedings of 3rd BMC-2003-Ohrid, R. Macedonia, **2003**.

- [14] Willis, B., Downstream Processing Options for Nickel Laterite Heap Leach Liquors, in ALTA 2007 Nickel/Cobalt, 21-23 May 2007, Perth, Australia, **2007**.
- [15] Rumbu, R., Non-Ferrous Extractive Metallurgy - Industrial Practices, Second Edition, 2RA-Edition, Cape Town, **2014**.
- [16] Akdeniz, N., Akhisar-Gölmarmara-Gördes-Sındırgı Arasının Jeolojisi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, **1985**.
- [17] Okay, A.İ., Tavşanlı Zonu: Anatolid-Torid Bloku'nun Dalma-Batmaya Uğramış Kuzey Ucu, MTA Dergisi, 142, 195-226, **2011**.
- [18] Okay, A.İ., Göncüoğlu, M.C., The Karakaya Complex: A Review of Data and Concepts, Turkish Journal of Earth Sciences (Turkish J. Earth Sci.), Vol. 13, 2004, pp. 77-95., **2004**.
- [19] Boyalı, İ., Arıkal, R.T., Yunusemre-Karaçam-Dumluca (Mihalıççık, Sivrihisar-Eskişehir) Yöresinin Nikel-Kobalt Maden Jeoloji Raporu, MTA Derleme Raporu, Rapor No:8032, Ankara, **1986**.
- [20] Karaaslan, N., Eskişehir-Mihalıççık-Karaçam Demir-Nikel Cevherleşmesi Jeoloji Raporu, MTA Derleme Raporu, Rapor No:6356, Ankara, **1978**.
- [21] Svarosky, L., Solid Liquid Separation, Fourth Edition, Butterworth-Heinemann, Oxford, **2000**.
- [22] Wills, B.A., Will's Mineral Processing Technology, Eighth Edition, Elsevier, Amsterdam, **2016**.
- [23] Anonim, Metalliferous Mining – Processing Thickening Resource Book <https://tr.scribd.com/document/176203621/thickening-basics-pdf> (Erişim tarihi: **5 Haziran 2019**).
- [24] Gill, C.B., Materials Beneficiation, Springer-Verlag, New York (1991) 82-84, **1991**.
- [25] Metso, Basics in Mineral Processing, **2018**.
- [26] [Halberthal J., Engineering Aspects in Solid-Liquid Separation, http://www.solidliquid-separation.com/Thickeners/thickener.htm](http://www.solidliquid-separation.com/Thickeners/thickener.htm) (Erişim tarihi: **3 Nisan 2019**).
- [27] Green, D.W., Perry, R.H., Perry's Chemical Engineers' Handbook, 8th Edition, McGraw-Hill, New York, Chapter 18, **2008**.
- [28] Concha, F., Solid Liquid Separation In the Mining Industry, Volume 105, Springer, Cham, **2014**.

- [29] Mulligan M.C., Bradford, L., Soluble Metal Recovery Improvement Using High Density Thickeners In A CCD Circuit: Ruashi II A Case Study, Fifth Southern African Base Metals Conference 27-31 July 2009, Kasane, Botswana, **2009**.
- [30] Hogg, R., Flocculation and Dewatering, *Int. J. Miner. Process.* 58 (**2000**) 223-236.
- [31] Somasundaran, P., Moudgil, B.M., Surfactant Science Series, Reagents in Mineral Technology, Vol 27., Marcel Dekker Inc., New York, Chapter 16, **1988**.
- [32] Stechemesser, H., Dobiás, B., Coagulation and Flocculation, Second Edition, Taylor & Francis, Boca Raton, **2005**.
- [33] Czemińska, M., Szcześ, A., Wilkołazka, A.J., Purification of Wastewater by Natural Flocculants, *Journal of Biotechnology, Computational Biology and Bionanotechnology*, Vol. 96(4) 272-278, Poland, **2015**.
- [34] Dwari, R.K., Angadi, S.I., Tripathy, S.K., Studies on Flocculation Characteristics of Chromite's Ore Process Tailing: Effect of Flocculants Ionicity and Molecular Mass, *Colloids and Surfaces A* 537 (**2018**) 467–477.
- [35] Çiftçi, H., Işık, S., Farklı Anyonik, Katyonik ve Noniyonik Flokülantların İnce Boyutlu Lavvar Tesisi Atıklarının Çökelme Davranışlarına Etkileri, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Cilt 21, Sayı 1, 13-19, **2017**.
- [36] Göçer, M., Kil Minerallerinin Flokülasyon ve Koagülasyon İşlemleri ile Çöktürme Karakteristiklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, **2016**.
- [37] Demiral, A., Killerin Elektrokinetik Özellikleri ve Flokülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, **2013**.
- [38] Eswaraiah, C., Biswal, S.K., Mishra, B.K., Settling Characteristics of Ultrafine Iron Ore Slimes, *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, Volume 19, Number 2, Feb **2012**, Page 95.
- [39] Kumar, S., Bhattacharya, S., Mandre, N.R., Characterization and Flocculation Studies of Fine Coal Tailings, *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, Vol. 114, November **2014**.

- [40] Pillai, J., Flocculants and Coagulants: The Keys to Water and Waste Management in Aggregate Production, Nalco Company, Illionis, **1997**.
- [41] SNF, Water Soluble Polymers, [https://snf.com.au/downloads/Water\\_Soluble\\_Polymers\\_E.pdf](https://snf.com.au/downloads/Water_Soluble_Polymers_E.pdf) (Erişim Tarihi **19 Ağustos 2019**).



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 16/09/2019

Tez Başlığı / Konusu: GÖRDES VE KARAÇAM LATERİTİK NİKEL CEVHERLERİNİN YBAL SONRASI CCD PROSESİNDE ÇÖKME DAVRANIMININ İNCELENMESİ

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 64 sayfalık kısmına ilişkin, 15/09/2019 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %5'tir.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç/dâhil
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orjinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

16.09.2019

Tarih ve İmza

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Adı Soyadı: Öykü KESKİN

Öğrenci No: N15224501

Anabilim Dalı: Maden Mühendisliği

Programı: Maden Mühendisliği-Tezli Yüksek Lisans

Statüsü:  Y.Lisans  Doktora  Bütünleşik Dr.

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Doç. Dr. N. Metin CAN  
(Unvan, Ad Soyad, İmza)



## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : Öykü KESKİN  
**Doğum yeri** : ANKARA  
**Doğum tarihi** : 02.06.1992  
**Medeni hali** : Bekar  
**Yazışma adresi** : Uzunçam Mah. Şehit Jan. Özgür Artunç Bul.  
No:202/8 Gördes/MANİSA  
**Telefon** : 0553 232 90 80  
**Elektronik posta adresi** : oykukeskin00@gmail.com  
**Yabancı dili** : İngilizce

### EĞİTİM DURUMU

**Lisans** : Hacettepe Üniversitesi – Maden Mühendisliği Bölümü  
/ 2010-2015

### İş Tecrübesi

Meta Nikel Kobalt Madencilik A.Ş. – Proses Mühendisi / 2016 - Halen

