

**FARKLI TİP FLOTASYON HÜCRELERİNDE KÖPÜK
GÖRÜNTÜSÜ İLE FLOTASYON PERFORMANSI
ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ**

**THE RELATIONSHIP BETWEEN FROTH IMAGE AND
FLOTATION PERFORMANCE IN DIFFERENT TYPES OF
FLOTATION CELLS**

EGEMEN GÜNEY

DOÇ. DR. ÖZLEM BIÇAK

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

Engin ÇELİK, Taha ÖZTÜRK, Oğulcan AYGAR ve Yiğitcan DURGUN anısına...



ÖZET

FARKLI TİP FLOTASYON HÜCRELERİNDE KÖPÜK GÖRÜNTÜSÜ İLE FLOTASYON PERFORMANSI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ

Egemen GÜNEY

Yüksek Lisans, Maden Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Özlem BIÇAK

Haziran 2024, 260 sayfa

Bu tez çalışması kapsamında ticari bir köpük görüntü sistemi kullanılarak altın flotasyonu yapılan bir tesiste flaş flotasyon hücresinin, kaba flotasyon devresinin birinci ve sonuncu hücrelerinin flotasyon performansları ile köpük değişkenleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Literatürde, flaş flotasyon hücresinin flotasyon performansı ile köpük değişkenleri arasındaki ilişkiyi inceleyen bir çalışma bulunmamaktadır. Bundan dolayı, bu tez çalışması flaş flotasyon hücresinin flotasyon performansı ile köpük değişkenleri arasındaki ilişkiyi inceleyen ilk çalışmadır.

Çalışma, flotasyon tesisinde bulunan flaş flotasyon hücresi ile 6 hücreden oluşan kaba flotasyon bankının birinci ve sonuncu hücrelerinde gerçekleştirilmiştir. İncelenen her bir hücrenin hem mekanik tasarım hem de devre içerisindeki pozisyonlarından dolayı birbirleri arasında farklılıklar bulunmaktadır. Flaş

hücrede hızlı yüzen yüksek tenörlü malzemelerin flotasyonu gerçekleştirilmektedir. Kaba flotasyon devresinin birinci hücresi öğütme devresinden gönderilen taze akışın flotasyonunu gerçekleştirirken, kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresi ise en az hidrofobikliğe sahip yavaş yüzen tanelerin flotasyonundan sorumludur. Bu sebeple her bir hücrenin hem flotasyon performansı hem de köpük yapısı kendisine özgüdür. Flaş flotasyon hücresinde oluşan köpüğün çalışma kapsamında incelenen diğer hücrelere kıyasla daha parlak ve yüksek stabiliteye sahip olduğu ve kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinde oluşan köpükte ise ciddi stabilite problemleri yaşandığı gözlemlenmiştir. Bu bakımdan, flotasyon hücrelerinin yüzeylerinde oluşan köpükler arasındaki görsel farklılıklar göz önüne alındığında her bir hücrenin flotasyon performansı ve köpük yapısı arasındaki ilişkiyi anlamak, hücrelerin kontrolünün daha iyi sağlanabilmesi adına önemli bir adımdır.

Flotasyon tesisinde incelenen flotasyon hücrelerinin operasyonel koşulları (palp seviyesi, hava hızı ve köpürtücü dozajı) her bir test için değiştirilmiştir. Bu sayede hem hücrenin flotasyon performansında hem de köpük yapısında değişiklikler meydana getirilmiştir. Hücrelerin yeni operasyonel koşullar altındaki performansını elde edebilmek amacıyla incelenen hücrenin çevresindeki akışlardan örnekleme çalışmaları yapılmıştır. Örnekleme çalışması esnasında incelenen hücrenin köpük yüzeyi Stone Three Köpük Görüntü Sistemi MK5 tarafından analiz edilerek kabarcık hızı, kabarcık boyu, köpük rengi ve köpük yüksekliği değerleri elde edilmiştir. Böylece incelenen her bir flotasyon hücresinin değişen operasyonel koşullar altındaki flotasyon performansının köpük yüzeyi değişkenleri ile olan ilişkileri araştırılmıştır.

Gerçekleştirilen çalışma sonucunda incelenen her bir hücredeki operasyonel koşullardaki değişimin flotasyon performansı ve köpük yüzeyi değişkenleri ile olan ilişkileri ortaya çıkarılmıştır. Her bir hücrede flotasyon performans göstergeleri (verim, tenör vb.) ile en yüksek korelasyon değerlerini veren köpük değişkeninin kabarcık hızı olduğu görülmüştür. Kabarcık hızının flotasyon performans göstergeleri ile olan ilişkisi incelenen her bir hücre için farklılıklar göstermiştir. Ölçülen kabarcık hızı üzerinden hücrelerin genel flotasyon davranışları yorumlanmıştır. Ayrıca, ortalama kabarcık boyunun incelenen her bir hücrede farklı olduğu görülmüştür. Operasyonel koşullardaki değişimin kabarcık

boyuna etkisi, özellikle de kaba flotasyon devresinin birinci hücresinde gerçekleştirilen köpürtücü dozajı testlerinde ortaya çıkarılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Köpük görüntü sistemi, kabarcık hızı, kabarcık boyu, flaş flotasyon, tenör tahmini



ABSTRACT

THE RELATIONSHIP BETWEEN FROTH IMAGE AND FLOTATION PERFORMANCE IN DIFFERENT TYPES OF FLOTATION CELLS

Egemen GÜNEY

Master of Science, Department of Mining Engineering

Supervisor: Dr. Özlem BIÇAK

Jun 2024, 260 pages

Within the scope of this master thesis, the relationships between froth variables and the flotation performances of the flash flotation cell, the first and last cells of the rougher flotation bank in a gold flotation plant using a commercial froth camera system were investigated. In the literature, there is no study investigating the relationship between the flotation performance of the flash flotation cell and froth variables. Therefore, this master thesis is the first study to investigate the relationship between froth variables and flotation performance of the flash flotation cell.

The measurement and sampling surveys were carried out for the flash flotation cell, the first cell and the last cell of the rougher flotation circuit in the flotation plant. There are differences between each of the investigated cells due to both their mechanical design and their position in the plant circuit. In the flash cell,

flotation of fast floating material is achieved. High grade and fast floating particles are recovered from the first cell of the rougher bank and the slow floating particles from the last cell of the bank. For this reason, both the flotation performance and the froth structure of each cell are unique. It was observed that the froth formed in the flash flotation cell surface was brighter and had higher stability compared to the other cells examined in the study, while serious stability problems were observed in the froth formed on surface of the last cell of the rougher flotation circuit. In this respect, considering the visual differences between the froths formed on the surfaces of the flotation cells, understanding the relationship between the flotation performance of each cell and the froth structure is an important step towards better control of the cells.

The operational conditions (pulp level, air flowrate and frother dosage) of the flotation cells were varied for each test. This resulted in changes in both the flotation performances and the froth structures of the investigated cells. In order to determine the performance of the cells under the new operational conditions, sampling campaign were carried out around the investigated cell. During sampling, the froth surface of the cell was analyzed by Stone Three Froth Image System MK5 to obtain bubble velocity, bubble size, froth color and froth height values. Thus, the relationship between the flotation performance and the froth surface variables of each flotation cell under varying operational conditions was studied.

As a result of the study, the relationships between the flotation performance and froth surface variables under the varied operational conditions in each cell were revealed. It was observed that bubble velocity was the froth variable that gave the highest correlations with flotation performance indicators (mass pull, grade, etc.) in each cell. The relationship between bubble velocity and flotation performance indicators showed differences for each cell. The flotation behavior of the cells was interpreted via the bubble velocity variable. Also, the average bubble size was found to be different for each flotation cell. The effect of the change in operational conditions on the bubble size was particularly evident in the frother dosage tests carried out in the first cell of the rougher flotation circuit.

Key Words: Froth camera system, froth surface, bubble velocity, bubble size, flash flotation, grade prediction



TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans döneminde öğrencisi olduğum tüm ekipman ve imkanlarından yararlandığım Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'na,

Lisans ve yüksek lisans öğrenimlerim süresince bana yol gösteren, her zaman beni destekleyen ve büyük sabır gösteren danışmanım Doç. Dr. Özlem BIÇAK'a, Tez çalışmalarımın her aşamasında bilgi ve tecrübesiyle bana her zaman destek olan Prof. Dr. Zafir EKMEKÇİ'ye,

Tez çalışmalarımı destekleyerek bana sundukları imkanlar dolayısıyla TÜPRAG Madencilik Efemçukuru Altın Madeni'ne, Proses Müdürü Sayın Semih AYDIN'a ve Başmühendis Sayın Fahri ARPAÇAY'a,

Stone Three Yazılım Şirketi ve çalışanlarına,

Yüksek lisans hayatımın ilk gününden itibaren her zaman yanımda olan sevgili Seda ÖZÇELİK'e, hem lisans hem de yüksek lisans süresince yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen arkadaşlarım Cankut ÇENDİK, Berk BUDAK, İsmail Caner KAVAK, Peyami Kaan AYMAN, Gözde AYDIN, Tolga SERT, Cengiz Vatan TİPİCİ, Şahin YILDIZ ve Mehmet Emin ALKAN'a,

Tüm öğrenim hayatım boyunca sevgisini hiç eksik etmeyen ve her türlü desteğiyle arkamda olan annem Ayşe ÖZÇALIK'a teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ÇİZELGELER	x
ŞEKİLLER	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xviii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR	2
2.1. Flotasyon	2
2.1.1. Köpük Fazı	2
2.1.2. Köpük Stabilitesi ve Flotasyon Performansı	5
2.2. Flotasyonda Köpük Görüntü Analizi	10
2.2.1. Flotasyonda Köpük Görüntü Analiz Sistemlerinin Kullanıldığı Tesis Ölçekli Çalışmalar	14
3. DENEYSEL ÇALIŞMA	21
3.1. Flotasyon Tesisi	21
3.2. Köpük Kamera Sistemi	26
3.3. Örnekleme ve Hidrodinamik Ölçüm Çalışmaları	28
3.3.1. Flaş Hücresi	34
3.3.2. Kaba Flotasyon Devresi Birinci Hücre	46
3.3.3. Kaba Flotasyon Devresi Sonucu Hücre	54
3.4. Köpük Değişkenleri	64
3.5. Madde Denkliği	69

4. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	72
4.1. Hava Hızı, Köpük Seviyesi ve Köpürtücü Dozajının Metalurjik Performansa Etkileri	72
4.1.1. Hava Hızının Metalurjik Performansa Etkisi.....	72
4.1.2. Palp Seviyesinin Metalurjik Performansa Etkisi	78
4.1.3. Köpürtücü Dozajının Metalurjik Performansa Etkisi	85
4.2. Hava Hızı, Palp Seviyesi ve Köpürtücü Dozajının Köpük Parametrelerine Etkileri	90
4.2.1. Hava Hızının ve Palp Seviyesinin Kabarcık Hızına Etkisi	90
4.2.2. Hava Hızının ve Palp Seviyesinin Kabarcık Boyuna Etkisi	96
4.3. Köpük Parametreleri ve Metalurjik Performans İlişkisi	106
4.3.1. Kabarcık Hızı ve Metalurjik Performans İlişkisi	106
4.3.2. Kabarcık Boyu ile Metalurjik Performans İlişkisi.....	143
4.3.3. Köpük Rengi ile Konsantre Tenörü İlişkisi	149
5. SONUÇLAR.....	157
KAYNAKLAR.....	160
EKLER	166

ÇİZELGELER

Çizelge 2.1 Ticari köpük görüntü sistemleri	13
Çizelge 3.1 İncelenen flotasyon hücrelerinin mekanik ve tasarım bilgileri	24
Çizelge 3.2 Test Edilen Bağımsız Değişkenler/Operasyonel Koşullar	29
Çizelge 3.3 Flaş hücresi test bilgileri	34
Çizelge 3.4 Flaş hücresi test koşulları	35
Çizelge 3.5 Flaş hücresi tesis verileri	36
Çizelge 3.6 Flaş hücresi hava hızı ölçümleri.....	37
Çizelge 3.7 Flaş hücre valf açıklığı ve hacimsel hava akışı değerleri	38
Çizelge 3.8 Flaş hücrede palp seviyesi başlangıç ve tesis ölçümlerinin medyan değerleri.....	39
Çizelge 3.9 Flaş hücre numunelerinin yaş ve kuru tartımları	41
Çizelge 3.10 Flaş hücre numunelerinin % katı değerleri.....	41
Çizelge 3.11 Flaş hücre dudak uzunluğu bilgileri.....	42
Çizelge 3.12 Flaş hücre konsantre akışı bilgileri.....	43
Çizelge 3.13 Flaş hücre besleme akışı bilgileri.....	45
Çizelge 3.14 Kaba flotasyon devresi birinci hücre test bilgileri	46
Çizelge 3.15 Kaba flotasyon devresi birinci hücre test koşulları	47
Çizelge 3.16 Kaba flotasyon devresi birinci hücre tesis verileri	48
Çizelge 3.17 kaba flotasyon devresi birinci hücre hava hızı ölçümleri	49
Çizelge 3.18 Kaba flotasyon devresi birinci hücre valf açıklığı ve hacimsel hava akışı değerleri	50
Çizelge 3.19 Kaba flotasyon devresi birinci hücre hacimsel hava tutma ölçümleri	51
Çizelge 3.20 Kaba flotasyon devresi birinci hücre numunelerinin yaş ve kuru tartımları	52
Çizelge 3.21 Kaba flotasyon devresi birinci hücre numunelerinin % katı değerleri	52
Çizelge 3.22 Kaba flotasyon devresi birinci hücre konsantre ve besleme akışları	53
Çizelge 3.23 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücre test bilgileri	54
Çizelge 3.24 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücre test koşulları	55

Çizelge 3.25 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücre tesis verileri.....	56
Çizelge 3.26 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücre hava hızı ölçümleri.....	57
Çizelge 3.27 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücre valf açıklığı ve hacimsel hava akışı değerleri.....	58
Çizelge 3.28 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücre hacimsel hava tutma ölçümleri.....	59
Çizelge 3.29 Kaba flotasyon devresi birinci hücre palp seviyesi başlangıç ve tesis ölçümlerinin medyan değerleri	60
Çizelge 3.30 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücre numunelerinin yaş ve kuru tartımları	61
Çizelge 3.31 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücre numunelerinin % katı değerleri	62
Çizelge 3.32 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücre konsantre akış bilgileri ...	63
Çizelge 3.33 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücre atık akış bilgileri	64
Çizelge 3.34 Flaş hücre köpük değişken bilgileri.....	65
Çizelge 3.35 Kaba flotasyon devresi birinci hücre köpük değişken bilgileri	66
Çizelge 3.36 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücre köpük değişken bilgileri..	67
Çizelge 3.37 Flaş hücre köpük renk bilgileri	68
Çizelge 3.38 Kaba flotasyon devresi birinci hücre köpük renk bilgileri	68
Çizelge 3.39 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücre köpük renk bilgileri	69
Çizelge 3.40 Flaş hücre flotasyon performans verileri.....	70
Çizelge 3.41 Kaba flotasyon devresi birinci hücre performans verileri	70
Çizelge 3.42 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücre performans verileri	71
Çizelge 4.1 Kabarcık boyu ortalama ve medyan değerleri	98
Çizelge 4.2 Flaş hücrede kabarcık boyu ortalama ve medyan değerleri	100
Çizelge 4.3 Kaba flotasyon devresini birinci hücrede kabarcık boyu ortalama ve medyan değerleri	102
Çizelge 4.4 Kaba flotasyon devresini sonuncu hücrede kabarcık boyu ortalama ve medyan değerleri.....	104
Çizelge 4.5 Kabarcık hızı ile konsantre katı kazanımı arasındaki doğrusal korelasyon değerleri.....	108
Çizelge 4.6 Kabarcık hızı ile konsantre katı kazanımı arasında doğrusal regresyon analizi sonuçları	109

Çizelge 4.7 Kabarcık hızı ile konsantre altın ve sülfür verimleri arasındaki doğrusal korelasyon-değerleri	112
Çizelge 4.8 Kabarcık hızı ile konsantre altın ve sülfür verimleri arasında doğrusal regresyon analizi sonuçları	113
Çizelge 4.9 Kabarcık hızı ile konsantre gang mineral verimleri arasındaki doğrusal korelasyon-değerleri	115
Çizelge 4.10 Kabarcık hızı ile konsantre gang mineral verimleri arasında doğrusal regresyon analizi sonuçları	116
Çizelge 4.11 Kabarcık hızı ile konsantre altın ve sülfür tenörleri arasındaki doğrusal korelasyon-değerleri	120
Çizelge 4.12 Kabarcık hızı ile konsantre altın ve sülfür tenörleri arasında doğrusal regresyon analizi sonuçları	122
Çizelge 4.13 Flaş hücrede gerçekleştirilen testlerin besleme akış bilgileri	123
Çizelge 4.14 Flaş hücrede gerçekleştirilen testlerin besleme akış bilgileri	124
Çizelge 4.15 Flaş hücrede hava verimi değerleri	129
Çizelge 4.16 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücrede kabarcık hızı ile konsantre altın tenörü arasında regresyon analizi sonucu	136
Çizelge 4.17 Kabarcık hızı ile konsantre gang mineral tenörü arasındaki doğrusal korelasyon-değerleri	139
Çizelge 4.18 Köpük rengi ile konsantre altın tenörü doğrusal korelasyon değerleri	149

ŞEKİLLER

Şekil 2.1 Homojen köpük sisteminin şematik gösterimi [14].....	3
Şekil 2.2 Hava hızı ve hava verimi arasındaki ilişki[36]	6
Şekil 2.3 Köpük görüntü sistemlerinden elde edilen veriler [56]	12
Şekil 3.1 Kaba Flotasyon Devresi	22
Şekil 3.2 İncelenen hücrelerin köpük görüntü sistemi tarafından görüntülenen köpük yüzey görüntüleri	25
Şekil 3.3 Köpük görüntü sistemi kamera düzeneği [75].....	27
Şekil 3.4 Köpük görüntü sisteminin hücre dudağında konumlandırılması önerilen bölgeler [75]	27
Şekil 3.5 Köpük görüntü sistem arayüzü [74]	28
Şekil 3.6 Hava hızı ölçüm ekipmanı	31
Şekil 3.7 Hacimsel hava miktarı ölçüm ekipmanı	32
Şekil 3.8 Akım şeması.....	33
Şekil 3.9 Flaş hücre valf açıklık ve hacimsel hava akışı ilişkisi.....	38
Şekil 3.10 Flaş hücresi palp seviyesi başlangıç ve tesis ölçümlerinin medyan değerleri ilişkisi.....	40
Şekil 3.11 Kaba flotasyon devresi birinci hücre valf açıklık ve hacimsel hava akışı ilişkisi.....	50
Şekil 3.12 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücre valf açıklık ve hacimsel hava akışı ilişkisi	58
Şekil 3.13 Kaba flotasyon devresi birinci hücre palp seviyesi başlangıç ve tesis ölçümlerinin medyan değerleri ilişkisi	60
Şekil 4.1 Hava hızı ve konsantre katı kazanımı ilişkisi	72
Şekil 4.2 Flaş hücre hava hızı ve konsantre katı kazanımı ilişkisi	73
Şekil 4.3 Hava hızı ve konsantre altın verimi ilişkisi	73
Şekil 4.4 Hava hızı ve konsantre sülfür verimi ilişkisi	74
Şekil 4.5 Hava hızı ve konsantre gang mineral verimi ilişkisi	74
Şekil 4.6 Flaş hücrede hava hızı ve konsantre gang mineral verimi ilişkisi	75
Şekil 4.7 Hava hızı ve konsantre altın tenörü ilişkisi.....	75
Şekil 4.8 Kaba flotasyon devresi hava hızı ve konsantre altın tenörü ilişkisi	76
Şekil 4.9 Hava hızı ve konsantre sülfür tenörü ilişkisi.....	76

Şekil 4.10 8 Kaba flotasyon devresi hava hızı ve konsantre sülfür tenörü ilişkisi	77
Şekil 4.11 Hava hızı ve konsantre gang mineral tenörü ilişkisi	77
Şekil 4.12 Hava hızı ve konsantre % katı miktarı ilişkisi	78
Şekil 4.13 Palp seviyesi ve konsantre konsantre katı kazanımı ilişkisi	79
Şekil 4.14 Flaş hücrede palp seviyesi ve konsantre konsantre katı kazanımı ilişkisi	79
Şekil 4.15 Palp seviyesi ve konsantre altın verimi ilişkisi	80
Şekil 4.16 Palp seviyesi ve konsantre sülfür verimi ilişkisi	80
Şekil 4.17 Palp seviyesi ve konsantre gang mineral verimi ilişkisi	81
Şekil 4.18 Flaş hücrede palp seviyesi ve konsantre gang mineral verimi ilişkisi	81
Şekil 4.19 Palp seviyesi ve konsantre altın tenörü ilişkisi	82
Şekil 4.20 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücrede palp seviyesi ve konsantre altın tenörü ilişkisi	82
Şekil 4.21 Palp seviyesi ve konsantre sülfür tenörü ilişkisi	83
Şekil 4.22 Palp seviyesi ve konsantre gang mineral tenörü ilişkisi	84
Şekil 4.23 Palp seviyesi ve konsantre % katı miktarı ilişkisi.....	84
Şekil 4.24 Köpürtücü dozajı ve konsantre katı kazanımı ilişkisi	85
Şekil 4.25 Köpürtücü dozajı ve konsantre altın verimi ilişkisi	86
Şekil 4.26 Köpürtücü dozajı ve konsantre sülfür verimi ilişkisi	86
Şekil 4.27 Köpürtücü dozajı ve konsantre gang mineral verimi ilişkisi	87
Şekil 4.28 Köpürtücü dozajı ve konsantre altın tenörü ilişkisi	88
Şekil 4.29 Köpürtücü dozajı ve konsantre sülfür tenörü ilişkisi	88
Şekil 4.30 Köpürtücü dozajı ve konsantre gang mineral tenörü ilişkisi	89
Şekil 4.31 Köpürtücü dozajı ve konsantre % katı miktarı ilişkisi.....	90
Şekil 4.32 Hava hızı ve kabarcık hızı ilişkisi	91
Şekil 4.33 Flaş hücrede hava hızı ve kabarcık hızı ilişkisi	92
Şekil 4.34 Flaş hücrede palp seviyesi ve kabarcık hızı ilişkisi	93
Şekil 4.35 Kaba flotasyon devresi birinci hücrede hava hızı ve kabarcık hızı ilişkisi	94
Şekil 4.36 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücrede hava hızı ve kabarcık hızı ilişkisi	95

Şekil 4.37 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücrede palp seviyesi ve kabarcık hızı ilişkisi.....	96
Şekil 4.38 Hava hızı ve kabarcık boyu ilişkisi	97
Şekil 4.39 Kabarcık boyu dağılımları.....	98
Şekil 4.40 Flaş hücrede hava hızı ve kabarcık boyu ilişkisi	99
Şekil 4.41 Flaş hücrede palp seviyesi ve kabarcık boyu ilişkisi	100
Şekil 4.42 Kaba flotasyon devresi birinci hücrede hava hızı ve kabarcık boyu ilişkisi.....	101
Şekil 4.43 Kaba flotasyon devresi birinci hücrede kabarcık boyu dağılımı	102
Şekil 4.44 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücrede hava hızı ve kabarcık boyu ilişkisi.....	103
Şekil 4.45 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücre palp seviyesi ve kabarcık boyu ilişkisi.....	104
Şekil 4.46 Kabarcık hızı ile konsantre katı kazanımı ilişkisi.....	106
Şekil 4.47 Flaş hücrede kabarcık hızı ile konsantre katı kazanımı ilişkisi.....	107
Şekil 4.48 Kabarcık hızı ile konsantre altın verimi ilişkisi.....	109
Şekil 4.49 Kabarcık hızı ile konsantre sülfür verimi ilişkisi.....	110
Şekil 4.50 Konsantre sülfür verimi ve konsantre altın verimi ilişkisi.....	111
Şekil 4.51 Kabarcık hızı ile konsantre gang mineral verimi ilişkisi.....	114
Şekil 4.52 Flaş hücrede kabarcık hızı ile konsantre gang mineral verimi ilişkisi	114
Şekil 4.53 Kabarcık hızı ile konsantre altın tenörü ilişkisi	117
Şekil 4.54 Kaba flotasyon devresinde kabarcık hızı ile konsantre altın tenörü ilişkisi.....	117
Şekil 4.55 Kabarcık hızı ile konsantre sülfür tenörü ilişkisi	118
Şekil 4.56 Kaba flotasyon devresinde kabarcık hızı ile konsantre sülfür tenörü ilişkisi.....	118
Şekil 4.57 Konsantre sülfür tenörü ile altın tenörü ilişkisi	120
Şekil 4.58 Kaba flotasyon devresinde konsantre sülfür tenörü ile altın tenörü ilişkisi.....	121
Şekil 4.59 Flaş hücre iki ayrı gün kabarcık hızı ile konsantre altın tenörü ilişkisi	125
Şekil 4.60 Flaş hücre iki ayrı gün kabarcık hızı ile konsantre sülfür tenörü ilişkisi	125

Şekil 4.61 Flaş hücrede köpük seviyesinin ve besleme tenörünün kabarcık hızı üzerinden konsantre altın tenörüne etkisi	126
Şekil 4.62 Flaş hücrede hava verimi ve konsantre altın tenörü ilişkisi	130
Şekil 4.63 Flaş hücrede hava verimi ve konsantre sülfür tenörü ilişkisi	130
Şekil 4.64 Flaş hücrede besleme altın tenörü ile konsantre altın tenörü ilişkisi	131
Şekil 4.65 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücrede kabarcık hızı ile konsantre altın tenörü ilişkisi	133
Şekil 4.66 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücrede deneysel ve kütle denklik sonrası denkleştirilmiş konsantre altın tenörlerinin karşılaştırılması	134
Şekil 4.67 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücrede deneysel ve kütle denklik sonrası denkleştirilmiş konsantre sülfür tenörlerinin karşılaştırılması	134
Şekil 4.68 Kabarcık hızı ile konsantre gang mineral tenörü ilişkisi.....	138
Şekil 4.69 Kaba flotasyon devresinde kabarcık hızı ile konsantre gang mineral tenörü ilişkisi	138
Şekil 4.70 Konsantre gang mineral tenörü ile konsantre altın tenörü arasındaki ilişki.....	139
Şekil 4.71 Kabarcık hızı ile konsantre % katı miktarı ilişkisi.....	140
Şekil 4.72 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücrede kabarcık hızı ile konsantre % katı miktarı ilişkisi.....	142
Şekil 4.73 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücrede kabarcık hızı ile konsantre katı kazanımı ilişkisi	142
Şekil 4.74 Kabarcık boyu ile konsantre katı kazanımı ilişkisi	143
Şekil 4.75 Kabarcık boyu ile konsantre altın verimi ilişkisi	143
Şekil 4.76 Kabarcık boyu ile konsantre sülfür verimi ilişkisi	144
Şekil 4.77 Kabarcık boyu ile konsantre gang mineral verimi ilişkisi	144
Şekil 4.78 Flaş hücrede kabarcık boyu ile konsantre altın tenörü ilişkisi	145
Şekil 4.79 Kaba flotasyon devresinde kabarcık boyu ile konsantre altın tenörü ilişkisi	145
Şekil 4.80 Flaş hücrede kabarcık boyu ile konsantre sülfür tenörü ilişkisi	146
Şekil 4.81 Kaba flotasyon devresinde kabarcık boyu ile konsantre sülfür tenörü ilişkisi	146
Şekil 4.82 Kabarcık boyu ile gang mineral tenörü ilişkisi	147
Şekil 4.83 Kabarcık boyu ile konsantre % katı miktarı ilişkisi.....	147

Şekil 4.84 Flaş hücrede konsantre sülfür tenörü ile Hue değeri ilişkisi	150
Şekil 4.85 Kaba flotasyon devresi birinci hücrede konsantre sülfür tenörü ile Saturation değeri ilişkisi	151
Şekil 4.86 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücrede konsantre sülfür tenörü ile Saturation değeri ilişkisi	151
Şekil 4.87 Flaş hücrede konsantre altın tenörü ile Saturation değeri ilişkisi ...	152
Şekil 4.88 Flaş hücrede hücrede konsantre altın tenörü ile Hue değeri ilişkisi	153
Şekil 4.89 Kaba flotasyon devresi birinci hücrede konsantre altın tenörü ile Saturation değeri ilişkisi	153
Şekil 4.90 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücrede konsantre altın tenörü ile Saturation değeri ilişkisi	154
Şekil 4.91 Flaş hücrede konsantre % katı miktarı ile Hue değeri ilişkisi	155
Şekil 4.92 Kaba flotasyon devresi birinci hücrede konsantre % katı miktarı ile Saturation değeri ilişkisi	155
Şekil 4.93 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücrede konsantre % katı miktarı ile Saturation değeri ilişkisi	156

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

%	Yüzde
°	Derece
ppm	Milyonda bir kısım; g/t
<i>e</i>	e sayısı veya Euler sayısı (2.718281828)
E	e sayısı veya Euler sayısı (2.718281828)
m	Metre
cm	Santimetre
mm	Milimetre
µm	Mikrometre
sa	Saat
dk	Dakika
sn	Saniye
g	Gram
kg	Kilogram
t	Ton
m ²	Metrekare
m ³	Metreküp
cm ³	Santimetreküp
ml	Mililitre
™	Ticari

m_s	Katı akışı (t/m ³)
m_w	Su akışı (t/m ³)
ρ_s	Katının özgül ağırlığı (g/cm ³)
ρ_w	Suyun özgül ağırlığı (g/cm ³)
R	Doğrusal korelasyon katsayısı
\bar{x}	Veri setinin ortalama değeri
\bar{y}	Veri setinin ortalama değeri
s_x	Veri setinin standart sapma değeri
s_y	Veri setinin standart sapma değeri
n	Veri çifti sayısı
α	Hava verimi (%)
v_f	Kabarcık hızı (mm/sn)
h_f	Hücre dudağının üzerinde bulunan köpük yüksekliği (mm)
L	Hücre dudak uzunluğu (mm)
Q_a	Hücreye verilen hava miktarı (m ³ /sa)
d	Devir

Kısaltmalar

PAR	Hava veriminin en yüksek olduğu hava hızı değeri (cm/sn)
KAT	Konsantre altın tenörü (ppm)
KH	Kabarcık hızı (mm/sn)
SAG	Yarı otojen değirmen
SIBX	Sodyum İzobütil Ksantat
J_g	Yüzeysel hava hızı (cm/sn)
NSG	gang mineral

1. GİRİŞ

Flotasyon hücrelerinin yüzeyinde oluşan köpük yapısının flotasyon performansı ile ilişkili olduğu bilinmektedir [1] [2]. Bu sebeple flotasyon devrelerinin kontrolünde ve/veya performans tahmininin yapılmasında kullanılmak üzere birçok farklı firma tarafından endüstriyel ölçekli köpük görüntü sistemleri üretilmektedir. Bu sistemler flotasyon köpük yüzeyinin sahip olduğu fiziksel, dinamik ve dokusal özelliklerin ölçümünü gerçekleştirmektedir. Bu sayede, flotasyon köpüğünde gerçekleşen insan gözünün algılayamayacağı değişiklikleri sayısal hale getirerek flotasyon hücresinde süregelen olayların anlaşılabilirliğini kolaylaştırmaktadır. Köpük görüntü sistemlerinin büyük bir kısmı genellikle köpüğün fiziksel ve dinamik özellikleri olan kabarcık hızı, kabarcık boyutu, köpük rengi ve köpük stabilitesi değişkenlerinin ölçümlerini gerçekleştirmektedir. Köpük yüzeyinde ölçülen fiziksel ve dinamik değişkenler köpüğün en belirgin özellikleri olup hücrelere verilen hava hızının, hücrelerin palp (çamur) seviyesinin ve reaktif eklemesinin kontrolünde kullanılmaktadır.

Son yıllardaki yazılım ve donanım alanlarındaki hızlı gelişimler yapay görüntüleme alanını temelden etkilemiş ve köpük görüntü sistemlerinin flotasyon tesislerindeki kullanımını yaygınlaştırmıştır [3]. Le Roux J., vd. 2020 yılında Güney Afrika'da gerçekleştirdikleri çalışma kapsamında incelenen flotasyon tesislerinin 67%'sinin köpük görüntü sistemi kullandıklarını belirtmiştir [4]. Bu çalışmada, genellikle köpüğün mobilitesinin bir göstergesi olarak kullanılan kabarcık hızının flotasyon hücrelerinin konsantre katı kazanımı profilinin ayarlanmasında ve hücrelerin hava verimlerinin düzenlenmesinde kullanıldığı belirtilmiştir. Literatürde köpük kamera sistemlerinin flotasyon tesislerinde kullanıldığı az sayıda çalışma bulunmaktadır [5] [6] [7] [8] [9].

Bu çalışma kapsamında, pirit içeren altın konsantresi üretilen bir flotasyon tesisinde köpük görüntü sistemi kullanılarak üç farklı flotasyon hücresi incelenmiştir. İncelenen her bir flotasyon hücresinin köpük görüntü sisteminden elde edilen köpük değişkenleri ile flotasyon performansları arasındaki ilişkiler ortaya çıkarılmıştır.

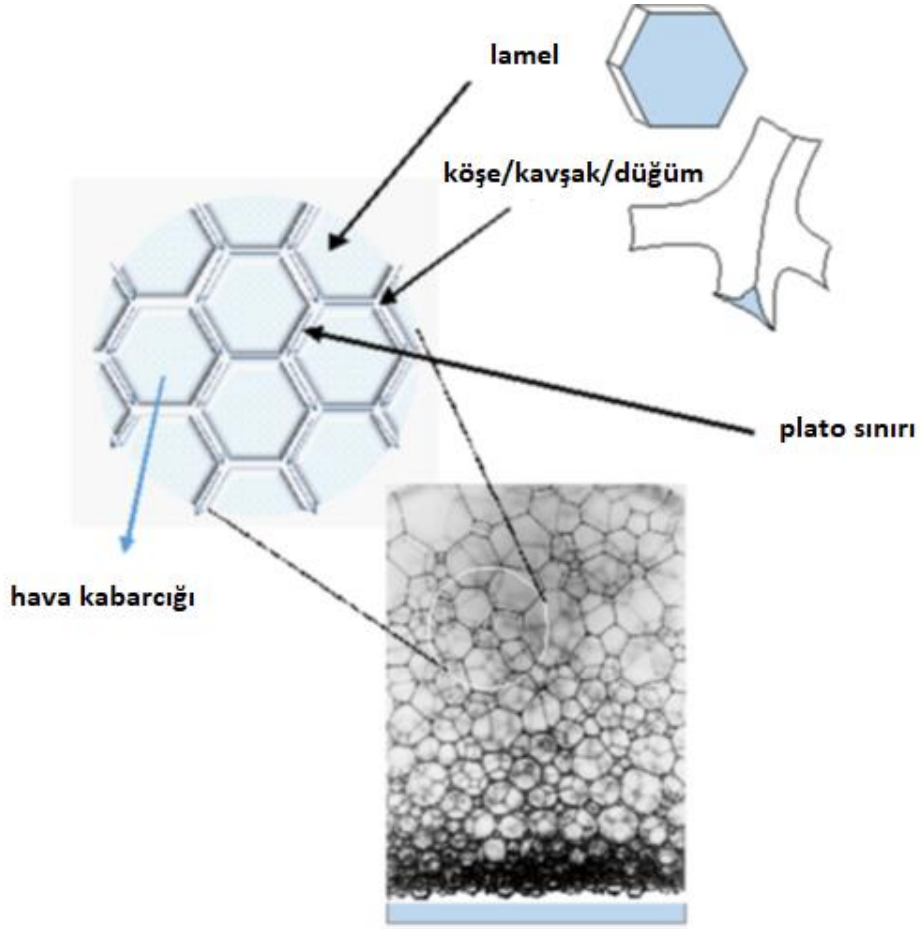
2. LİTERATÜR

2.1. Flotasyon

Dünya genelindeki mineral kaynaklarının tükenmeye başlaması ve minerallerin serbestleşme tane boylarının gittikçe düşmesi sebebiyle flotasyon, cevher hazırlama alanında oldukça cazip bir teknolojidir [10]. Flotasyon işlemi, katı, sıvı ve gaz olarak üç farklı faz içeren ve fizikokimyasal temellere dayanan bir yöntemdir. Flotasyonda katı fazı zenginleştirmek istenilen cevherin kendisi, sıvı fazı su ve gaz fazını da hava oluşturmaktadır. Flotasyon ile zenginleştirme işlemi, cevher içerisinde bulunan minerallerin yüzey özelliklerinin farklılıklarını kullanarak gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemde, konsantreye alınmak istenen değerli mineralin yüzeyi hidrofobik (suyu sevmeyen) yapılarak hava kabarcıklarına tutunması sağlanır ve bir köpük fazı oluşturulur. Daha sonra, oluşan bu köpüğün hücrenin üst kısmındaki akıştan konsantreye alınması ile zenginleştirme işlemi gerçekleştirilir.

2.1.1.Köpük Fazı

Palp fazındaki hidrofobik taneler, hava kabarcıklarına tutunarak flotasyon hücresi boyunca yukarı taşınırlar. Yüzeyleri hidrofobik taneler ile kaplanan yüklü hava kabarcıkları flotasyon hücresi boyunca yükselirken bir araya gelerek sıkışmaya başlar. Sıkışan yüklü hava kabarcıkları flotasyon hücresi yüzeyinde birikerek köpük fazını meydana getirir. Hava kabarcıklarının palp fazında sahip oldukları küresel yapı, sıkışmanın etkisiyle köpük tabakası boyunca bükülerek çok yüzlülere dönüşür [11]. Köpük fazında toplanan yüklü hava kabarcıklarının her biri bir diğerinden ince bir su tabakası ile ayrılır. Hava kabarcıklarını birbirinden ayıran bu ince su tabakası "lamel" olarak adlandırılır. Birbirlerine komşu üç lamel 120°'lik açıyla bir araya gelerek "plato sınırı" adı verilen bölgeyi oluşturur. Dört komşu plato sınırı ise 109,6°'lik açılarla kesişerek "köşe/kavşak/düğüm" bölgelerini oluştururlar [12]. Köpük faz içerisinde oluşan bu bölgeler, su ve katı tanelerin içlerinde akabilecekleri birbirleriyle bağlantılı 3 boyutlu sürekli kanallar ağını meydana getirmektedir [13]



Şekil 2.1 Homojen köpük sisteminin şematik gösterimi [14]

Köpük fazında hava kabarcıklarına tutunmuş olan hidrofobik tanelere karşın, bazı taneler hava kabarcıkları arasındaki su kanallarında bulunmaktadır [15]. Hava kabarcıklarına tutunmadan serbest şekilde su kanallarında hareket edebilen bu taneler, sürüklenme mekanizmasından ya da hava kabarcıklarına tutunan tanelerin tutundukları hava kabarcığından geri kopmasından kaynaklanmaktadır. Sürüklenme, palpın içerisinde yükselmekte olan hava kabarcıklarının beraberinde bir miktar suyu da köpük fazına taşıması olayıdır [16]. Böylece, palp içerisinde bulunan ince tanelerin su vasıtasıyla seçimsiz olarak köpük fazına taşınımı gerçekleşmektedir [17]. Sürüklenme mekanizmasından kaynaklı olarak su ile seçimli olmayan bir şekilde önce köpük fazına, daha sonra da konsantreye taşınan bu malzemelerin miktarının, konsantreye alınan su miktarı ile orantılı olduğu bilinmektedir [18] [19].

Hava kabarcıklarına tutunarak köpük fazına girmiş olan tanelerin hava kabarcıklarından kopmalarının sebebi olarak yüzeydeki kabarcıkların patlaması ya da köpük fazı içerisindeki hava kabarcıklarının birleşmesi olarak gösterilmiştir [17]. Köpük fazına giren hava kabarcıkları yükselmeye devam ettikçe çevrelerini sarmakta olan sıvı film kendisine etki eden kuvvetlerle (kapılar kuvvet, yerçekimi kuvveti ve kabarcıkların birbirleri arasında oluşan viskoz sürüklenme) aşağı yönde drene olmaya başlar [20]. Bunun sonucu olarak, kabarcıklarının yüzeylerinde bulunan ince su tabakasının "lamel" stabilitesinde düşüş meydana gelir [21]. İki komşu hava kabarcığı arasındaki ince su filminin sahip olduğu su miktarının kritik bir değerin altına düşmesiyle birlikte stabilitedeki düşüş, kabarcıkların patlamalarını ve tekrar birleşerek daha büyük bir hava kabarcığı oluşturmalarına sebep olur [11]. Hava kabarcıklarının birleşmesinin tüm köpük fazı boyunca gerçekleştiği, en fazla palp-köpük fazı arayüzünde görüldüğü ve bundan dolayı da palp-köpük fazı arayüzünden hücre yüzeyine doğru çıkıldıkça hava kabarcıklarının çaplarının da arttığı görülmüştür [22]. Böylece, hava kabarcıklarına tutunmuş olan tanelerin bir kısmı tutundukları kabarcıkların patlamasıyla su kanallarına düşmektedir. Hava kabarcıklarının yükselmesiyle birlikte gerçekleşen drenajın, hacimsel olarak daha fazla su bulundurması sebebiyle temel olarak plato sınırlarından gerçekleştiği belirtilmiştir [12]. Köpük fazı içerisindeki plato sınırlarında bulunan tanelerin drene olan su miktarı oranında palp fazına geri döndükleri bilinmektedir [12].

Köpük fazının, genel flotasyon performansı üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır [23] [24] [25] [26]. Yetersiz köpük fazı performansı flotasyon hücresinin genel verimine negatif etki edebilmektedir [27]. Genel olarak flotasyon köpüğünün, hidrofobik tanelerin konsantreye alınmasına kadar stabil, konsantreye alındıktan sonra ise malzemenin taşınmasının rahatlığı bakımından köpüğün kırılarak stabilitesinin düşmesi istenmektedir [28]. Köpük fazının davranışı birçok farklı parametreden etkilenmektedir ve karakterize edebilmek için eşsiz bir yöntem bulunmamaktadır [16] [29] [30]. Bu yüzden, köpük fazda gerçekleşen mekanizmaları hesaba katarak bir flotasyon modelinin oluşturulmasının, flotasyon prosesini daha iyi anlamamıza olanak sağlayacağı düşünülmüştür [31].

Hücre yüzeyinde oluşan köpüğün yapısal ve dinamik özellikleri flotasyon köpüğü içerisindeki:

- Tanelerin hava kabarcıklarına tutunmuş olmaları,
- Tanelerin köpük faza sürüklenmiş olmaları,
- Kabarcıkların hücre yüzeyinde patlamaları,
- Kabarcıkların bir araya gelerek birleşmeleri

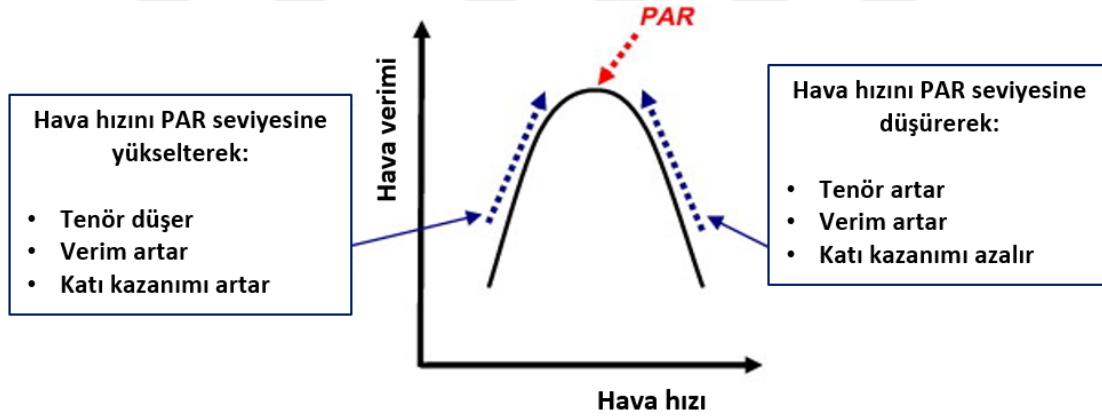
gibi farklı olaylardan etkilenmektedir. Bundan dolayı, gerçekleştirilen ayırımın verimliliğinin bir göstergesi olarak flotasyon köpüğünün yapısal ve dinamik özellikleri kullanılabilir [29]

2.1.2.Köpük Stabilitesi ve Flotasyon Performansı

Köpük stabilitesi (dayanımı/kararlılığı), hava kabarcıklarının lamellerinin ortamda rasgele meydana gelen salınımlara karşı dayanıklılığı olarak tanımlanabilir [16]. Köpük fazındaki hava kabarcıklarının birleşme ve patlama olaylarındaki artış, düşük köpük stabilitesinin bir göstergesi olarak yorumlanmıştır [16] [31] [32] [13]. Bundan dolayı, köpük fazın yüzeyinde bulunan hava kabarcıklarının boyutları köpük stabilitesinin genel bir göstergesi olarak yorumlanabilmektedir [13] [28]. Köpük yüzeyinde meydana gelen patlamalar hem konsantreye alınan köpük akışını hem de azalan kabarcık yüzeyinden dolayı tanelerin tutunacakları yüzey alanını azaltmaktadır [28] [18]. Bu sebeple köpük stabilitesinin genel flotasyon performansı üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır [16] [13]. Genel olarak stabilitesi yüksek olan köpüklerde yüksek köpük fazı verimi ve sürüklenen malzeme miktarında artış olması beklenmektedir [16] [26].

Köpük stabilitesini niceliksel olarak tanımlayabilmek için hava verimi, çapraz korelasyon ve patlama fraksiyonu gibi farklı yöntemler kullanılarak, köpük görüntü analizine dayalı ölçümler yapılmıştır [28]. Stabilitate göstergesi olarak kullanılan en yaygın yöntemlerden birisi hava verimidir. Hava verimi en temel olarak, flotasyon hücresinin üst akışından patlamadan konsantreye alınan havanın hücreye giren hava miktarına oranı olarak tanımlanmıştır [29] [33] [34] [35] [36]. Hava veriminin en yüksek olduğu hava hızı değeri PAR (Peak Air Recovery) olarak tanımlanmıştır [36] [34].

K. Hadler, C. D. Smith ve J.J. Cilliers 2010 yılında gerçekleştirmiş oldukları çalışmada [36], hava hızının en yüksek hava veriminin elde edildiği PAR değerine yükseltilmesiyle hem kabarcık hızında hem de konsantre katı kazanımında artış, ancak artan köpük stabilitesi ve mobilitesi ile konsantre tenöründe düşüş meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Hava hızının PAR değerine düşürülmesiyle kabarcık hızında çok az bir değişim meydana gelirken, konsantre katı kazanımında ciddi bir düşüş gözlemlenmiştir. Konsantre katı kazanımında düşüş gözlemlenirken konsantre verimi ve tenöründe ise artış görülmüştür. Bu çalışma, yüksek konsantre katı kazanımının her zaman yüksek mineral verimine yol açmak zorunda olmadığını, operasyonel koşulların en stabil köpük yapısının elde edilmiş olduğu PAR değerinde çalıştırılması durumunda yüksek konsantre veriminin elde edilebileceğini gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Hava hızı ve hava verimi arasındaki ilişki[36]

Köpük stabilitesini etkileyen ana faktörler aşağıda verilmiştir [32] [37] [13] [38] [26] [39]:

- Köpürtücü türü ve dozajı
- Köpük fazdaki tanelerin boyutları
- Köpük fazdaki tanelerin konsantrasyonu
- Köpük fazdaki tanelerin hidrofobiklik dereceleri
- Tanelerin şekilleri

2.1.2.1.Köpürtücü Etkisi

Köpürtücülerin en önemli fonksiyonu hava-su arayüzündeki yüzey gerilimini düşürerek köpük stabilitesine katkıda bulunmasıdır [37]. M.A. Vera, J.P. Franzidis ve E. V. Manlapig tarafından 1999 yılında gerçekleştirilen çalışmada [40], Köpürtücü dozajının palp fazı verimine etkisinin bulunmadığı ancak, köpük fazı veriminde artışa sebep olduğu görülmüştür. Başka bir çalışmada ise [24], artan köpürtücü dozajının palp fazı verimini de arttırmış olduğu görülmüştür. Artan köpürtücü dozajı kabarcık stabilitesini arttırarak köpük fazı verimini arttırmaktadır [24] [39]. Artan kabarcık stabilitesinin kabarcıkların birleşmesini azalttığı ve kabarcık hızını arttırdığı böylece de tanelerin köpük fazında kalma ve drenaj sürelerinin kısaldığı söylenmektedir [31]. Özellikle konsantreye alınan ince tane fraksiyonunun tenöründe gerçekleşen düşüş ve konsantreye alınan su miktarındaki artış, artan köpük stabilitesiyle birlikte artan sürüklenmeye atfedilmiştir [24]. Artan köpürtücü dozajı ile yüzeyde bulunan hava kabarcıklarının boyutlarında düşüş meydana geldiği bilinmektedir [37]. Bu düşüş artan köpük stabilitesinin bir göstergesi olarak görülmektedir. Genel olarak, köpürtücü dozajındaki artış ile artan köpük stabilitesine bağlı olarak konsantreye alınan değerli mineral miktarında artış yaşanırken, artan sürüklenme ile konsantrenin değerli mineral tenöründe düşüş gözlemlenmektedir [37].

2.1.2.2.Toplayıcı Etkisi

Doğadaki minerallerin büyük bir çoğunluğu doğal hidrofildir (suyu seven). Bu bakımdan, flotasyon ile yüzdürülecek olan mineralin hücreye verilen hava kabarcıklarına tutunabilmesi için öncelikle yüzeyinin hidrofobik yapılması gerekmektedir. Minerallerin yüzeylerini hidrofobik yapabilmek için toplayıcı adı verilen yüzey aktif maddeler kullanılmaktadır. Toplayıcıların görevi konsantreye alınmak istenilen mineralin yüzeyine seçimli olarak soğurularak ilgili mineral yüzeyini hidrofobik kılmaktır. Toplayıcı dozajındaki artış, palp fazındaki tanelerin hidrofobiklik derecelerini arttırarak, tane-kabarcık birlikteliğinin dayanıklılığını arttırmaktadır. Bu durum, palp fazındaki mineral veriminde artışa sebep olmaktadır [24] [40]. Artan dozaj ile tanelerin aşırı artan yüzey hidrofobikliğinin köpük fazının stabilitesini olumsuz etkileyerek, kabarcıkların birleşmesini arttırabileceği literatürde belirtilmiştir [24]. Artan toplayıcı dozajının, köpük fazı

viskozitesini arttırarak köpük fazındaki tanelerin drenajını yavaşlatabileceği ve konsantre tenöründe düşüşe sebebiyet verebileceği söylenmiştir [41].

2.1.2.3. Tane Boyu Etkisi

Flotasyon performansının çok ince ve çok iri taneler için düşük olduğu bilinmektedir. Literatürde, ince taneler için köpük fazı veriminin en yüksek olduğu ve artan tane boyu ile köpük fazı veriminin düştüğü söylenmiştir [23] [42]. S. Schwarz ve S. Grano 2005 yılında yapmış oldukları çalışmada farklı köpük seviyelerinde gerçekleştirilen testlerde, tüm hidrofobiklik derecelerinde en yüksek konsantre katı kazanımının 20-30 µm tane boyu aralığında ve en düşük konsantre katı kazanımının ise 5 µm altı tanelerde gözlemlenmiştir [18]. Literatürde, iri tanelerin köpük fazı verimlerinin diğer tane boyu fraksiyonlarına göre daha düşük olduğu ve bunun sebebi olarak da iri tanelerin köpük fazında gerçekleşen mekanizmalar neticesinde ince ve orta boyuttaki tanelere göre çok daha hızlı drene olmaları gösterilmiştir [43] [44].

2.1.2.4. Hidrofobiklik Derecesinin Etkisi

Köpük faz içerisinde yükselmeye ve drene olmayan devam eden hidrofobik taneler ile kaplanmış olan hava kabarcıklarının köpük fazı içerisindeki mobilitesi, ortamın genel katı miktarının su miktarına oranındaki fazlalık sebebiyle azalır. Drenajın devam etmesi durumunda hava kabarcıklarında patlamalar ve birleşmeler meydana gelerek bir miktar malzemenin tekrar pulp fazına dönmesine sebep olabilir. Ancak, çoğu flotasyon sisteminde hidrofobik tanelerin hava kabarcıklarına tutunarak hava kabarcığının katılığını/sertliğini arttırması ile flotasyon köpüğünün stabilitesini arttırdığı ve drenajı yavaşlattığı bilinmektedir. Bundan dolayı, hava kabarcıklarının hidrofobik taneler ile hangi ölçüde kaplandıkları hem ayırımın verimliliği hem de konsantreye alınan köpüğün stabilitesi bakımından flotasyon köpüğünün yapısı için temel unsurlardandır [29]. Literatürde, tanelerin hidrofobiklik derecelerindeki artışın "kritik" bir dereceye kadar köpük stabilitesini arttırdığı ve belirli bir seviyenin üzerinde hidrofobikliğe sahip olan tanelerin köpük stabilitesini olumsuz etkilediği belirtilmiştir [22] [45] [46], [47]. S. Schwarz ve S. Grano 2005 yılında farklı hidrofobiklik derecelerine sahip taneler ile yapmış oldukları çalışmada 69° temas açısına (en yüksek hidrofobikliğe sahip taneler) sahip tanelerin artan köpük yüksekliği ile hem köpük fazı hem de genel katı kazanımlarında düşüş gözlemlenmiştir [18]. Katı

kazanımlarındaki bu düşüşü, köpük stabilitesindeki düşüşten dolayı artan kabarcık birleşmesi ile tanelerin tutunacakları kabarcık yüzey alanındaki düşüşe atfetmiştir. S. Ata, N. Ahmed, G.J. Jameson 2003 yılında yapmış oldukları çalışmada 66° temas açısına sahip olan cam tanelerin köpük fazındaki veriminin, köpük yüksekliğindeki artış ile 55° temas açısına sahip tanelere göre daha düşük olduğunu gözlemlemiştir [22]. Bu çalışmada, 66° temas açısına sahip olan tanelerin hava kabarcıklarından ayrılma oranlarının 100mm ve üzeri tüm köpük yüksekliklerinde arttığı bulunmuştur. En yüksek köpük stabilitesi orta seviye hidrofobikliğe sahip tanelerin varlığında, en düşük köpük stabilitesi ise en düşük hidrofobikliğe sahip tanelerin varlığında elde edilmiştir.

2.1.2.5.Hava Hızının Etkisi

Hava hızı, palp fazında kabarcık boyutu ve kabarcık yüklenme miktarını; köpük fazında ise sürüklenme ve köpükte kalma süresi gibi durumları etkilemektedir [35] [34] [30]. Gerçekleştirilen çalışmalarda, hava hızındaki artışın yüzeyde bulunan hava kabarcıklarının mobilitesini arttırdığı gözlemlenmiştir [31] [23] [36]. Artan hava hızı ile tanelerin köpükte kalma süreleri kısalmakta ve flotasyon köpük fazı verimi bundan dolayı artmaktadır [23]. Bu durum konsantre tenöründe düşüşe sebep olabilmektedir [39]. Çok yüksek miktardaki hava hızı, tanelerin kabarcıklardan kopmalarından dolayı flotasyon veriminde düşüşe sebep olabilmektedir [30] [39] [40]. Düşük hava hızı koşullarında ise tanelerin köpükte kalma sürelerindeki artışın kabarcıkların konsantreye alınmadan önce patlamasına ve düşük kabarcık mobilitesine sebep olarak konsantre veriminde düşüşe neden olabilmektedir [34].

2.1.2.6.Köpük Yüksekliğinin Etkisi

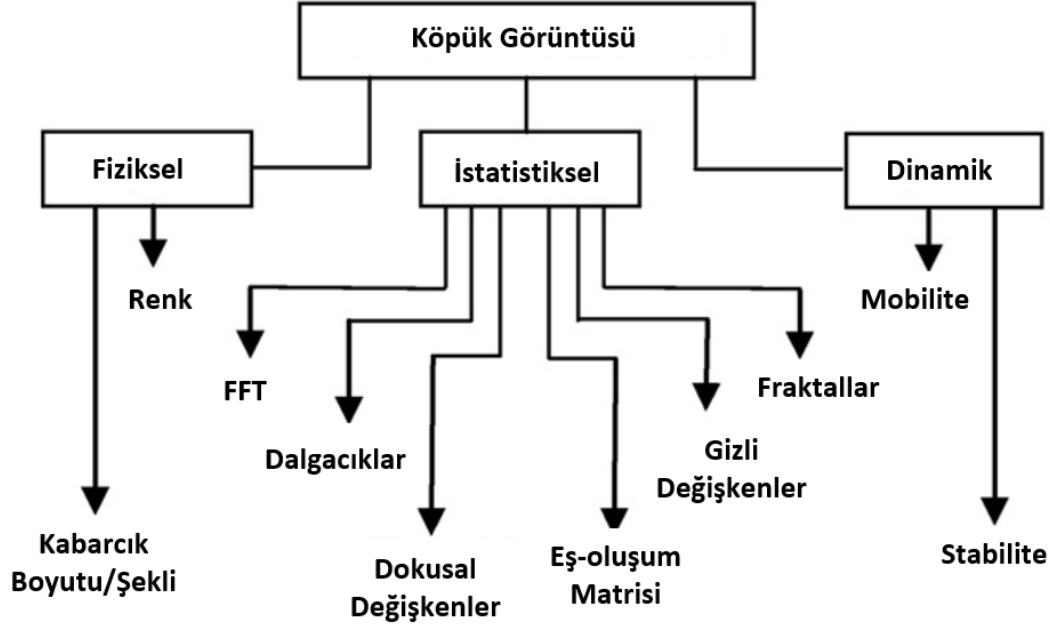
Derin köpük yüksekliğinin, tanelerin köpükte kalma sürelerini uzatacağından daha fazla drenaja sebep olarak yüksek konsantre tenörlerine sebebiyet vereceği belirtilmiştir [40] [48]. Tanelerin köpükte kalma sürelerinin uzamasıyla köpük fazı veriminde düşüş olması beklenmektedir [23]. Sabit hava hızında sıg köpük yüksekliği koşulları, tanelerin köpükte kalma süresinin azalmasıyla kabarcıklara tutunmamış olan tanelerin drenajında azalmaya ve köpük mobilitesinde artışa sebep olmaktadır. Köpük mobilitesindeki artış değerli mineral veriminde artışa yol açarken, aynı zamanda değersiz tanelerin veriminde de artışa sebep olarak konsantrenin yüksek katı kazanımına ve değerli mineral tenöründe düşüşe sebep olmaktadır. Köpük yüksekliğindeki ileri bir artış, kabarcıkların köpükte kalma süresindeki artış ile hava kabarcıklarına tutunmamış olan taneler için drenaj süresi artacaktır. Drenajdaki artış, köpük mobilitesinde ve konsantrenin değerli mineral veriminde düşüşe sebebiyet verecektir. Bu koşullarda daha yüklü kabarcıklar daha düşük mobilite değerlerinde elde edileceğinden, konsantrenin değerli mineral tenöründe artış gözlemlenecektir. Köpük yüksekliğindeki artış devam ettikçe, köpük mobilitesinde düşüş ve kabarcıkların yüklenme miktarında da artış gözlemlenecektir. Kabarcıkların aşırı yüklenmesi ve konsantreye alınma süresindeki artıştan dolayı kabarcıklar hücreden çıkamadan patlayacak ve konsantrenin değerli mineral veriminde düşüşe sebep olacaktır [35] [30].

2.2. Flotasyonda Köpük Görüntü Analizi

Flotasyon köpüğünün karakteri ve davranışı, gerçekleşen ayırım işleminin genel performansı hakkında bilgi vermektedir [21] [49] [50] [51]. Bundan dolayı, flotasyon hücrelerinin performansının yorumlanmasında köpüğün görsel durumu göz önüne alınmaktadır. Köpüğün anlık durumu, köpük yüzeyinin sahip olduğu fiziksel özellikler kullanılarak yorumlanmaktadır. Köpüğün en belirgin fiziksel özellikleri, kabarcık boyu, kabarcık şekli, köpük rengi, kabarcık mobilitesi ve kabarcık stabilitesidir. Bu köpük özellikleri genellikle hücrenin kontrolü için kullanılan performans göstergeleridir. Köpüğün görsel özellikleri kullanılarak yapılan gözlemler, her bir mühendise ve operatöre göre bireysel farklılıklar gösterebilmektedir. Bundan dolayı performans hakkında yapılan yorumlar öznel hale gelebilmektedir [25] [52]. Yapılan yorumların öznel olması tesiste gerçekleşen durumlara karşı verilen tepki süresinin geç olmasına ve bundan

dolayı da akışların stabilitesinin bozulması, normalde kazanılabilecek olan değerli minerallerin atığa gönderilmesi gibi olumsuz durumlara sebebiyet verebilmektedir [52]. Bu gibi sebeplerden dolayı flotasyon hücrelerinin performansının daha iyi anlaşılabilmesi ve prosesin işleyişine doğru müdahalelerin yapılabilmesi için ortak bir referans noktasında buluşulmak zorunludur. Köpük analiz sistemleri, köpük yüzeyinde ortaya çıkan önemli parametrelerin sayısal hale getirilmesi ve böylece değişen proses koşulları ile köpük görüntüsü arasındaki ilişkilerin ortaya konulması için kullanılmaktadır [9] [53] [25]. Bu sayede, köpük parametreleri ve genel performans bilgileri arasındaki ilişkiler ortaya çıkarıldıktan sonra flotasyon hücrelerinin değişen operasyonel koşullar altında kontrolü sağlanabilir. Köpük analiz sistemlerinin insan gözüyle algılanamayacak değişiklikleri kolaylıkla algılayabilmesiyle efektif çevrimiçi bir analiz sistemi olarak kontrol sistemlerine entegrasyonu amaçlanmaktadır [54] [55]. Köpük görüntü sistemlerinin, kurulum maliyetinin görece düşük olması, temas ile ölçüm yapmaması, aynı anda birden fazla parametrenin ölçümünü yapabilmesi (kabarcık mobilitesi, boyutu vb.), bakımının ve kalibrasyonunun kolay yapılabilmesi gibi sebeplerden klasik kontrol sistemlerine göre daha cazip hale gelmektedir [3] [52]. 2020 yılında gerçekleştirilen araştırma, Güney Afrika'da araştırmaya dahil olan tesislerin yaklaşık %67'sinin köpük görüntü sistemleri kullandığını göstermiştir. Bu araştırmada köpük görüntü sistemlerinin en çok katı kazanımının kontrolünde ve PAR (peak air recovery) hava hızı değerinin sağlanabilmesi için hava hızının kontrolünde kullanıldığı görülmüştür [4].

Köpük görüntü analiz sistemleri, köpük yüzeyinden fiziksel, istatistiksel ve dinamik olmak üzere üç farklı kategoride veri sağlayabilmektedir.



Şekil 2.3 Köpük görüntü sistemlerinden elde edilen veriler [56]

Dinamik özellikler olan kabarcık mobilitesi ve stabilitesi, art arda alınan köpük görüntülerinin analizinden elde edilmektedir [56]. Fiziksel özellikler (renk, kabarcık boyutu, kabarcık şekli) görüntünün segmentlere ayrılarak yüzeyde bulunan her bir kabarcığın belirlenmesiyle elde edilmektedir. Köşe algılama algoritmaları (edge detection algorithms) ve su havzası algoritması (watershed algorithm) genellikle fiziksel özelliklerin elde edilmesinde kullanılan yaklaşımlardır [57]. İstatistiksel özellikler, görüntüler arasındaki örüntüleri tanımlama amacıyla kullanılmaktadır [56].

Flotasyonda kullanılan köpük görüntü analiz sistemlerinin tesis uygulamaları gelişen teknoloji ile yaygınlaşmaktadır. Çizelge 2.1'de ticari olarak kullanılan bazı köpük görüntü analiz sistemleri verilmiştir [58].

Çizelge 2.1 Ticari köpük görüntü sistemleri

Sistem	Ülke	Ölçülen Köpük Değişkenleri				
		Köpük Rengi	Kabarcık Boyu ve Şekli	Köpük Stabilitesi	Kabarcık Hızı	Köpüğün Dokusal Değişimi
Aceflot	Dictuc S.A. (Şili)	+	+	+	+	+
Canty Vision™	JM Canty (ABD)	-	+	+	+	-
ECS/Process Expert FrothVision	FL Smidth (Danimarka)	+	+	+	+	+
FloVis VS	Ameplus (Polonya)	+	+	+	+	+
Froth Sence	Outotec (Finlandiya)	+	+	+	+	+
JK FrothCam	JKMRC (Avustralya)	+	+	+	+	+
OptVision Froth	CEMI (Brezilya)	+	+	-	+	-
Plant Vision	Knowledge Scape (ABD)	+	+	+	+	+
SmartFroth	UCT (Güney Afrika)	+	+	+	-	-
Tempotrack	Bluecube (Güney Afrika)	-	-	+	+	-
VisioFroth	Metso (Finlandiya)	+	+	+	+	+
Stone Three	Flotation Diagnostics and Analytics Solution (Güney Afrika)	+	+	+	+	-

2.2.1. Flotasyonda Köpük Görüntü Analiz Sistemlerinin Kullanıldığı Tesis Ölçekli Çalışmalar

Köpük görüntü analiz sistemleri kullanılarak köpük yüzeyinden elde edilen fiziksel ve dinamik köpük parametreleri ile flotasyon performansı arasındaki ilişkiyi inceleyen tesis ölçekli bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Kym Runge vd. 2007 yılında yapmış oldukları çalışmada, Visiofroth™ kullanılarak farklı köpük yüksekliği ve hava hızı değerlerinde çalıştırılan kaba ve süpürme flotasyon devrelerinin birinci ve üçüncü hücrelerinde numune alma çalışması gerçekleştirilmiştir [5]. Çalışmada, numune alma sırasında Visiofroth™ tarafından ölçülen köpük hızı, kabarcık patlama sıklığı ve köpük rengi parametrelerinin (RGB, HSV ve LAB) flotasyon performansı ile ilişkisi incelenmiştir. Köpük hızının (cm/sn) kaba flotasyon devresinin birinci ve süpürme flotasyon devresinin üçüncü hücresindeki katı ve su akışları ile pozitif şekilde ilişkili olduğu gösterilmiştir. Köpük hızının konsantre katı kazanımının bir göstergesi olarak kullanılabileceği ancak konsantre katı kazanımının tam bir ölçütü olarak kullanılamayacağı belirtilmiştir. Ortalama kabarcık boyunun bakır tenörü ile pozitif ilişkili olduğu görülmüştür. Kabarcık patlama sıklığının konsantre tenörü ile en yüksek korelasyonu verdiği ve patlama sıklığındaki artış ile konsantre tenörü arasında negatif ilişki olduğu gösterilmiştir. Renk parametreleri arasında köpük üstünden alınan numunenin bakır tenörü ile en yüksek ilişkinin HSV renk modeline ait olan Hue parametresi ile olduğu görülmüştür. Kabarcık boyu ile kabarcık patlama sıklığının negatif ilişkili olduğu gösterilmiştir.

Morar vd. 2012 yılında gerçekleştirmiş olduğu çalışmada, iki farklı tip flotasyon davranışını temsil eden (hızlı ve yavaş yüzen) flotasyon sistemlerinin kaba flotasyon devrelerinin birinci ve üçüncü hücreleri değişen operasyonel koşullar altında incelenmiştir [8]. Hızlı yüzen malzemeyi sülfürlü bakır minerallerinin flotasyonunun gerçekleştirildiği NorthParkes Madeni temsil ederken, yavaş yüzen malzemeyi ise platin grubu metallerin flotasyonunun gerçekleştirildiği Anglo Platinum'a ait olan pilot ölçekli tesiste gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen her bir test için köpük kamera sistemi ile görüntü alınarak köpük yüzey tanımlayıcıları (kabarcık hızı, kabarcık patlama oranı, kabarcık boyu ve katı yüklemesi) ölçülmüştür. Flotasyon sisteminin performans ile ilişkisi doğrusal olmamasına karşın test edilen faktörler ile flotasyon performans göstergelerinin

(tenör ve katı kazanımı) arasındaki ilişkilerin yorumlanmasında çok değişkenli doğrusal regresyon analizinden faydalanılmıştır. Kabarcık hızının, konsantre katı kazanımının açıklanmasında güvenilen bir ölçüt olmasına karşın doğrudan katı kazanımının bir göstergesi olamayacağı ve aradaki ilişkinin cevherin değişen koşullarına göre farklılık gösterebileceği gösterilmiştir. Bakır flotasyon sisteminde artan kabarcık patlama oranı konsantre tenörünü azaltırken, konsantre katı kazanımını arttırdığı görülmüştür. Buna karşın, PGM flotasyon sisteminde artan kabarcık patlama oranının konsantre tenöründe artışa sebebiyet verirken, konsantre katı kazanımında düşüş ile sonuçlandığı görülmüştür. Bu durum, iki farklı hidrofobisiteyi temsil eden flotasyon sistemlerinin köpük fazı mekanizmalarındaki farklılıklara atfedilmiştir. Bakır flotasyon sisteminde bu durum, kabarcıkların hidrofobik taneler ile aşırı yüklenmelerinden dolayı plato sınırlarındaki katı miktarının artmasıyla açıklanmıştır. PGM sisteminde ise artan kabarcık patlama oranının kabarcıkların taşınma hızını azaltarak drenajı arttırması ve kabarcık yüzey alanı akısını azaltarak konsantre katı kazanımını düşürmesi şeklinde açıklanmıştır. Böylece, konsantre tenörüne etki eden köpük değişkenin güçlü hidrofobikliğe sahip ya da zayıf hidrofobikliğe sahip olan malzemelerin varlığında değişebileceği sonucu çıkarılmıştır. Güçlü hidrofobikliğe sahip malzemelerin varlığında konsantre tenörünün belirlenmesinde köpük stabilitesi sistemin baskın faktörü olurken, zayıf hidrofobikliğe sahip malzemelerin varlığında ise kabarcık hızının baskın faktör olduğu gösterilmiştir. Çalışma sonucunda, dar operasyonel koşullar altında köpük yüzeyi parametreleri ile flotasyon performansı arasında bir ilişki kurulabilirken, genel bir ilişkinin direkt olarak bulunmadığı söylenmiştir. Bundan dolayı, flotasyon performansı ile köpük yüzey parametreleri arasındaki ilişkinin açıklanabilmesinde daha fazla mekanistik anlayışın gerekli olduğu ve aralarındaki ilişkinin açıklanmasında kullanılan ampirik yaklaşımların muhtemelen başarısız olacağı söylenmiştir.

D. Bradshaw vd. 2006 yılında yapmış olduğu çalışma, sülfürlü bakır flotasyonu yapılan Northparkes Madeni'nde gerçekleştirilmiştir [28]. Çalışma, köpük stabilitesinin bir göstergesi olarak görüntü analizi ile elde edilmiş olan çapraz korelasyon ve patlama fraksiyonu göstergelerinin konsantre bakır tenörü ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Köpük stabilitesinin göstergesi olarak çapraz korelasyon parametresinin patlama fraksiyonundan daha güvenilir bir ölçüt

olduğu gösterilmiştir. Sistemde, köpük stabilitesi ile hava kabarcıklarına tutunmuş olan tanelerin tenörleri arasında ilişki bulunduğu ve bu durumun yüksek hidrofobikliğe sahip olan bakır tanelerinin hava kabarcıklarının stabilitesini arttırmışından kaynaklandığı söylenmiştir. Kabarcık hızı ve köpük stabilitesinin göstergesi olan çapraz korelasyon kullanılarak konsantrenin bakır tenörünün tahmininin gerçekleştirilebileceği ancak ilişkinin köpürtücü dozajından etkilendiği gösterilmiştir.

Kaartinen J., vd. 2006 yılında gerçekleştirmiş oldukları çalışmada, çinko flotasyonunun gerçekleştirildiği kaba flotasyon devresine kurulan köpük görüntü analiz sistemi ile 35 günlük köpük görüntüleri elde etmiştir [9]. Köpük görüntü analiz sistemi yardımıyla ilk etapta kaba devrenin zannedildiği kadar stabil olmadığı görülmüştür. Görüntü analiz sistemi, standart proses ölçümleri ve Courier X-ray analizi ile tanımlanamayan proses dalgalanmalarını, köpük görüntüsünden elde edilen değişkenler aracılığıyla ortaya çıkarmıştır. Buna ek olarak görüntü analiz sistemi, proseste meydana gelen dalgalanmaların uyarısını Courier X-ray analizinden 15 dakika daha erken vermiştir. Elde edilen köpük görüntülerinden farklı algoritmalar vasıtasıyla köpük rengi, kabarcık boyu dağılımı, kabarcık hızı, kabarcık patlama sıklığı ve kabarcık yüklenmesi parametreleri hesaplanmıştır. 35 gün boyunca elde edilen köpük görüntüleri 13 farklı kabarcık yüklenmesini temsil eden sınıfa göre kategorize edilmiştir. Kabarcık yüklenmesi ile konsantre Çinko verimi arasında pozitif ilişki olduğu bulunmuştur. Besleme tenörünün neredeyse sabit olduğu aralık tek başına incelendiğinde, kabarcık yüklenmesinin optimum olduğu durumda kabarcık hızının düşük olduğu görülmüştür. Bu durum, düşük verim elde edilen durumlarda verimi yükseltmek adına kabarcık hızını arttırmak için yapılan hamlelerin (köpük yüksekliği düşürmek, hücreye verilen hava hızını arttırmak vb.) yanlış bir yaklaşım olabileceği şeklinde yorumlanmıştır. Konsantre çinko tenörünün kabarcık hızı ile negatif ve bir renk parametresi olan kırmızı renk kanalı ile pozitif ilişkili olduğu, ayrıca kırmızı renk kanalının besleme çinko tenörü ile de pozitif ilişkili olduğu görülmüştür. Bu durum, beslemenin çinko tenörü ile konsantrenin çinko tenörü arasında pozitif ilişki bulunduğu şeklinde yorumlanmıştır. Köpük görüntü analiz sistemi, geri bildirim kontrol sistemine entegrasyonu ile çinko veriminin %1,3 artmış olduğu ve bu artışın yıllık 200.000-300.000 € kar ile

sonuçlandırıldığı görülmüştür. Bu bakımdan bu çalışma, köpük görüntü sistemlerinden elde edilen doğru köpük değişkenlerinin çinko flotasyon devresinin kontrolünde kullanılarak çinko verimini arttıracaklarını ve böylece ciddi finansal faydaların elde edilebileceğini göstermiştir.

Massinaei M., vd. 2019 yılında yaptıkları çalışma İran'ın doğusunda bulunan bir kömür tesisinde gerçekleştirilmiştir [59]. Çalışmada, tesise beslenen malzemenin -0,5 mm fraksiyonu flotasyon ile zenginleştirme aşamasına gönderilmektedir. Köpük görüntü kamera sistemi paralel şekilde işletilmekte olan 5 adet flotasyon kolonunun sonuncu kolon hücrelerine yerleştirilmiştir ve çalışma bu hücrede gerçekleştirilmiştir. Bu hücredeki operasyonel koşullar değiştirilerek (hava hızı, köpük yüksekliği, palp %katı miktarı, köpürtücü ve toplayıcı dozajı) görüntü analiz sisteminden elde edilen köpük yüzeyi değişkenleri ile flotasyon performansı arasındaki ilişki incelenmiştir. Hava hızındaki artışın, kabarcık yüzey alan akısını artırarak tanelerin hava kabarcıklarına tutunma miktarında artışa ve böylece yanıcı malzemelerin veriminde artışa sebebiyet vermiştir. Ayrıca, hava hızındaki artışın köpük fazındaki kabarcıkların birleşme miktarını artırarak köpük yüzeyde daha iri kabarcıkların oluşturduğu görülmüştür. Hava hızındaki artış ile kabarcık yüzey alanı akısını arttırdığı ve böylece yüzeydeki kabarcıkların mobilitesini artırarak kabarcık hızını arttırdığı gözlemlenmiştir. Artan kabarcık hızı, konsantreye alınan su verimini artırırken konsantrenin yanıcı malzeme tenörünü de düşürmüştür. Köpük yüksekliğindeki artışın sürüklenmiş olan malzemelerin ve hava kabarcıklarından kopmuş olan malzemelerin köpük faz içerisindeki drenaj miktarlarını artırarak konsantredeki yanıcı malzeme tenörünü arttırdığı görülmüştür. Artan köpük yüksekliği ile köpük yüzeyinde bulunana hava kabarcıklarının boyutlarının irileştiği görülmüştür. Köpük yüksekliğinin artmasıyla kabarcık hızında da azalma görülmüştür. Köpürtücü dozajındaki artışın yanıcı malzeme verimini ve konsantre kül tenörünü arttırdığı görülmüştür. Ayrıca, köpürtücü dozajındaki artışın köpük yüzeydeki kabarcıkların boyunu inceltirken, kabarcık hızını da arttırdığı görülmüştür. Bu durum, köpürtücü dozajındaki artış ile artan kabarcık stabilitesinden kaynaklı olarak daha ince boya sahip hava kabarcıklarının beraberlerinde köpük faza taşıdıkları su miktarındaki artışın köpüğün mobilitesini arttırdığı şeklinde açıklanmıştır. Bunun sonucunda, sürüklenme mekanizmasında artış gerçekleştiği belirtilmiştir. Gerçekleştirilen

çalışma sonucunda elde edilen köpük değişkenleri ile flotasyon performansı arasında anlamlı ilişkilerin bulunduğu söylenmiştir. Köpük görüntü analiz sistemlerinin gelişmiş bir kontrol sistemine entegrasyonunun operasyonel duruma verimli bir şekilde gerekli teşhisleri koyabileceği ve hatta farklı koşullar altına metalurjik parametrelerin kestiriminin yapılabileceği sonucuna varılmıştır.

Brooks K., vd. 2017 yılında yapmış oldukları çalışma, asitte çözünmeyen oksitli bakır flotasyonunun gerçekleştirildiği Kansanshi Madeni'nde gerçekleştirilmiştir [60]. Kaba flotasyon devresinde karşılaşılan en büyük sorununun besleme tenörünün, viskozitesinin ve mineralojisinin değişiminden kaynaklı olarak konsantre katı kazanımı değerlerinde tutarsızlıklar olduğu söylenmiştir. Bu duruma çözüm olarak köpük görüntü analiz sistemi, Model Öngörülmesi Kontrol sistemine entegre edilerek her bir flotasyon hücresinden ölçülen kabarcık hızı değerleri ve konsantre seviyelerinin kontrolü sağlanmaya çalışılmıştır. Kabarcık hızı ve konsantre seviyelerinin kontrolünde flotasyon hücrelerinin palp seviyeleri, hücrelere sağlanan hava hızları ve eklenen köpürtücü dozajı manipüle edilen değişkenler olmuştur. Bu sayede kaba flotasyon bankından elde edilen konsantrenin bakır tenörünün ve veriminin kontrolü sağlanmaya çalışılmıştır. Kontrol sisteminin aktif olarak kullanıldığı 2 aylık periyod ve kontrol sisteminin aktif olmadığı bir yıldan daha uzun süreyi temsil eden üretim günleri karşılaştırılmıştır. Üretim günleri, performansın besleme tenöründen etkilenmediğini gösterebilmek adına benzer besleme tenörü değerine sahip olan günlerden seçilmiştir. Kontrol sisteminin kullanılmış olduğu periyodun total bakır veriminde %4,56, asitte çözünmeyen bakır veriminde %10,15 ve geri-temizleme devresi konsantresinin total bakır veriminde %2,58 artış gerçekleştiği görülmüştür. Bu çalışma, köpük görüntü analiz sistemlerinin flotasyon kontrol ve optimizasyonunda kontrol sistemlerine entegrasyonu ile genel performansa katkı sağlayabileceğini göstermiştir.

A. Supomo, vd. 2008 yılında yayınlamış oldukları çalışma Endonezya'nın Papua bölgesinde bulunan PT Freeport bakır/altın tesisinde gerçekleştirilmiştir [6]. Tesiste paralel şekilde işletilen 4 farklı kaba flotasyon devresi bulunmaktadır. Çalışma kapsamında tesisteki toplam metal üretiminin %50'sinden bile daha fazla sorumlu olan C4 kodlu kaba flotasyon bankı incelenmiştir. Bu bankın 9 adet

flotasyon hücrelerinin 1:2:2:2 konfigürasyonu şeklinde işletildiği söylenmiştir. Bu bankın işletilme amacı olarak konsantre metal veriminin konsantre katı kazanımı üzerinden maksimize edilmesi olarak belirtilmiştir. Konsantre verimi maksimize edilirken elde edilen konsantrenin tenörünün ve hacminin kısıtlayıcı faktörler olduğu söylenmiştir. Bu devrede operatörler tarafından flotasyon koşullarının köpüğün görsel durumuna göre yorumlandığı ve sıklıkla performans düşüklüğü ile karşılaşıldığı belirtilmiştir. Bu durumun önüne geçebilmek adına eş zamanlı şekilde doğru ölçümler alabilmek ve köpük yüzeyinde bulunan özelliklerin sayısallaştırılabilmesi için VisioFroth köpük görüntü kamera sistemleri tesise entegre edilmiştir. Bu sayede, köpük yüksekliği üzerinden kabarcık hızının ayarlanması ile konsantre katı kazanımının kontrolünün optimum koşullar altında sağlanabilmesi hedeflenmiştir. Köpük kamera sisteminin tesisin kontrol sistemine entegrasyonu ile kaba flotasyon devresi boyunca kinetik flotasyon eğrisinin tersi olacak şekilde bir kabarcık hızı profili belirlenmiştir. Kabarcık hızının bank boyunca ayarlanmasında bu devrenin sonunda bulunan ince öğütme devresinin stabilitesinin sağlanabilmesi için belirlenen kısıtlar da kontrol sistemi içerisine dahil edilmiştir. Köpük kamera sisteminin, kontrol sistemine entegrasyonunun öncesini ve sonrasını temsil eden zaman aralıkları karşılaştırıldığında beslemenin %1,1 bakır tenörü olduğu koşullarda kaba devre veriminde %1'lik bir artış gerçekleştiği görülmüştür. VisioFroth ile kullanılmakta olan DCS kontrol sisteminin OCS kontrol sistemine yükseltilmesiyle beraber kaba flotasyon devresindeki kabarcık hızlarının her bir hücrede ortalama %20 artarak bu devredeki konsantre katı kazanımını arttırdığı görülmüştür. Kaba devredeki artan konsantre katı kazanımına rağmen ince öğütme devresi akışının standart sapmasında %50 ve ortalama hata değerinde %85'lik düşüşler görülmüştür. Bu durum artan konsantre katı kazanımına rağmen ince öğütme devresinin daha stabil bir şekilde çalıştığını göstermiştir. Sonuç olarak köpük kamera sistemlerinin kontrol sistemlerine entegrasyonu sonucu kaba flotasyon devresinde %1'lik bir verim artışı görülürken, kontrol sisteminin OCS kontrol sistemine yükseltilmesiyle beraber VisioFroth ile olan kombinasyonu sonucunda kaba devre veriminde ilaveten %2,4'lük bir artış meydana geldiği söylenmiştir.

Endüstriyel ölçekli olarak gerçekleştirilen bu çalışmalar köpük değişkenleri ile flotasyon performansı arasında ilişkiler kurulabileceğini göstermektedir. Köpük görünüş sistemlerinin kontrol sistemlerine entegrasyonu ile flotasyon hücrelerinin kontrol ve optimizasyonu amaçlanmaktadır. Flotasyon performansının yorumlanmasında kullanılacak olan köpük değişkeninin flotasyon besleme karakterinden etkilendiği görülmektedir. Bu bakımdan her bir flotasyon hücresinin beslemesinin diğer hücrelere göre farklı olduğu göz önüne alındığında, her bir flotasyon hücresinin metalurjik performansı ile köpük değişkenleri arasındaki ilişkinin de farklılık göstermesi beklenilmektedir. Bu tez çalışması kapsamında farklı operasyonel koşullar altında köpük değişkenleri ile flotasyon performans göstergeleri arasındaki ilişkiler incelenen her bir hücre için ortaya çıkarılmıştır. İncelenen her bir hücrenin hem besleme hem de tasarımsal olarak farklılıklar göstermesi sebebiyle flotasyon performansı ile köpük değişkenleri arasındaki ilişkiler karşılaştırılarak incelenmiştir. Bu sayede her bir hücrenin flotasyon davranışının köpük değişkenleri üzerinden daha iyi anlaşılabilir kontrolünün gerçekleştirilebilmesine katkıda bulunulması hedeflenmiştir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Flotasyon Tesisi

Çalışmanın gerçekleştirildiği flotasyon tesisinde altın, temel olarak sülfürlü mineraller ile ilişkilidir ve beraber yüzdürülmektedir. Pirit mineralinin yanı sıra sülfürlü mineral olarak galen, sfalerit ve eser miktarda kalkopirit de bulunmaktadır. Bu sebeple, tesiste toplu sülfürlü mineral flotasyonu yapılmakta ve altın içeren yığın sülfürlü mineral konsantreleri satılmaktadır.

Tesiste farklı türde flotasyon kimyasalları kullanılmaktadır. Tesiste bulunan SAG değirmenin çıkışı hidrosiklon besleme havuzuna gönderilmektedir. Burada canlandırıcı/aktivatör olarak bakır sülfat (CuSO_4) ve sülfidizasyon amacıyla (NaHS) eklenmesi yapılmaktadır. Hidrosiklon devresinin üst akışı kaba flotasyon devresine, alt akışı ise bilyalı değirmene öğütülmek üzere gönderilmektedir. Kaba flotasyon devresine gönderilen akış önce koşullandırma tankında toplayıcı ve köpürtücü ilavesine maruz kalmaktadır. Hidrosiklon alt akışından bilyalı değirmene beslenen malzemeye ise değirmen çıkışında toplayıcı ve köpürtücü eklenmesi yapılmaktadır. Tesise toplayıcı olarak SIBX ve S-8045, köpürtücü olarak F-549 kullanılmaktadır. Bilyalı değirmen çıkışı flaş flotasyon hücresine beslenerek burada hızlı yüzen yüksek tenörlü serbest altın tanelerinin konsantreye alınması sağlanmaktadır. Bu bakımdan flaş flotasyon hücresi, serbest altın tanelerinin yüksek yoğunlukları sebebiyle öğütme devresindeki sirkülasyonunun da önüne geçmektedir. Flaş flotasyon hücresinin konsantresi birinci temizleme bankına gönderilmektedir. Flaş flotasyon hücresinin atığı ise kapalı devre çalışmakta olduğu hidrosiklon besleme havuzuna geri gönderilmektedir. Hidrosiklon üst akışının beslendiği kaba flotasyon devresi 20 m³ hacimli 6 adet flotasyon hücresinin meydana getirdiği tek bir banktan oluşmaktadır. Bu bankın ilk iki hücresinin konsantreleri birinci temizleme bankına, geri kalan son dört hücresinin konsantreleri de ikinci temizleme bankına beslenmektedir. Kaba flotasyon bankının nihai atığı Knelson zenginleştiriciye beslenmektedir. Knelson zenginleştiricisinin konsantresi Salter zenginleştiriciye, atığı ise nihai atığı oluşturmaktadır. Flotasyon devresinin alt akışlarından (downstream) dönmekte olan; temizleme devresi atıkları ve Salter zenginleştirici atığı tekrardan hidrosiklon besleme havuzuna beslenmektedir. Bilyalı değirmen çıkışı d₈₀ tane boyu 174 µm, hidrosiklon üst akışı d₈₀ tane boyu ise 49 µm'dur.



Şekil 3.1 Kaba Flotasyon Devresi

Bu çalışmada, flaş flotasyon hücresi ve kaba flotasyon bankının ilk ve son hücreleri incelenmiştir. Her bir hücre, akım şemasındaki pozisyonu, besleme karakteri ve hücre tasarımı gereği olarak farklılıklar göstermektedir. Bunda dolayı hücrelerin yüzeylerinde oluşan köpük yapılarında da farklılıklar bulunmaktadır

Literatürde flaş flotasyon hücrelerinin tesislerde kullanılmaya başlanmasının ana sebebi olarak öğütme devresinde bulunan değerli minerallerin aşırı öğünmelerini ve şlam oluşturmalarını engelleyerek devreden bir an önce çıkarılmaları olarak gösterilmektedir. Ancak bunun yanı sıra ayak izinin küçüklüğü, yüksek tonajları muamele edebilmesi ve flotasyon devresinin karmaşıklaşmasının önüne geçebilmesi gibi sebepler de bulunmaktadır. Flaş flotasyon hücresinin öğütme devresi içerisindeki pozisyonu değirmen çıkışı ya da hidrosiklon alt akış çıkışı olarak değişebilmektedir [61]. Flaş hücrenin akım şeması içerisinde farklı noktalarda çalıştırılmasının bir sonucu olarak, flaş flotasyon hücresine beslenecek malzemenin %katı miktarını ayarlayabilmek için ekstradan su eklemesi yapılabilmektedir [62]. Flaş hücreye beslenen malzemenin, diğer flotasyon hücrelerine beslenen malzemeye görece daha iri tane boyunda olması göz önüne alındığında bu hücredeki ayırımın iki farklı şekilde gerçekleştiği söylenebilmektedir. Flaş hücreye beslenen aşırı iri tanelerin su içerisinde doğrudan hücre tabanına doğru ilerleyerek bypass olmasından kaynaklı bir sınıflandırıcı gibi; hızlı yüzen değerleri hidrofobik minerallerin hücreye sağlanan

hava kabarcıklarına tutunarak konsantreye alınmasından dolayı da bir flotasyon hücresi gibi davranmaktadır. Bundan dolayı, flaş hücre atık çıkışında bulunan malzeme çok daha iri ve % katı miktarı daha yüksekken konsantreyi oluşturan malzemeler atığa göre daha ince ve çok daha yüksek tenörlü olmaktadır. Bunun sonucunda flaş hücresi atık çıkışı yeniden öğütmeye gönderilirken, konsantre akışı ise alt akışlarda bulunan temizleme devrelerine hatta nihai konsantreye dahi gönderilebilmektedir [61]. Bianca Newcombe vd. 2013 yılında yapmış oldukları çalışmada flaş flotasyon hücresinde köpük kamerası bulunduğu belirtilmiş ancak flotasyon performansı ile olan ilişkisine değinilmemiştir [63].

Flotasyon tesislerinde bulunan kaba flotasyon devreleri bir dizi flotasyon hücresinin seri şekilde sıralanması ile işletilmektedir. Bank boyunca bir önceki flotasyon hücresinin atığı bir sonraki flotasyon hücresinin beslemesini oluşturmaktadır. Bu şekilde bu devrelerden yüksek mineral verimi elde edilebilmesi için faydalanılmaktadır. Genellikle kaba flotasyon devresinin nihai atığı cevher hazırlama tesis atığının ortalama olarak %90'ını oluşturmaktadır [64]. Genel olarak en yüksek tenöre sahip taneler, yüksek derece yüzey serbestleşmesi gösteren ve bu yüzden yüksek flotasyon hız sabitine sahip olmalarından dolayı flotasyon bankının ilk hücrelerinde elde edilirken ürün kalitesi bankın son hücrelerine yaklaşıldıkça düşmektedir [64] [65] [66] [67] [68] [69] [70]. Ayrıca, belirli bir serbestleşme derecesi sınıfına ait tanelerin boyutlarına göre flotasyon hız sabitlerinin değiştiği de bilinmektedir [68] [69]. Bundan dolayı flotasyon bankı boyunca elde edilen konsantrelerin tane boyu dağılımları arasında farklılıklar da bulunmaktadır. Bankın ilk hücrelerinden elde edilen konsantrelerin tane boyu dağılımlarının, bankın son hücrelerinden elde edilenlere kıyasla daha iri olmaktadır [66] [65]. Köpük fazında bulunan tanelerin hidrofobiklik derecelerinin ve tane boyu dağılımlarının köpük fazının stabilitesini ve flotasyon performansını etkilediği bilinmektedir [13] [71] [72] [44] [73]. Bundan dolayı, flotasyon bankı boyunca hücrelerin köpük görüntüleri ve performansları arasında farklılıklar bulunmaktadır.

Çalışmanın gerçekleştirildiği tesiste flaş hücresi 10 m³ hacme sahip Dorr-Oliver tipi iken flotasyon bankının ilk ve son hücreleri ise özdeş 20 m³'lük Wemco 20RT'dir. Bu bakımdan, kaba flotasyon bankının ilk ve son hücrelerindeki farklılıkların sebebi besleme karakterindeki değişimlere atfedilmektedir. Tez kapsamında çalışılan hücrelerin bilgileri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 İncelenen flotasyon hücrelerinin mekanik ve tasarım bilgileri

Flotasyon Hücreleri	Kaba Flotasyon	Flaş Flotasyon
		Wemco 20 m ³
Hücre Tipi	Wemco 20RT	DO10m ³ Flash
Motor Dönüş Hızı (d/dk)	888	990
Pervane Dönüş Hızı (d/dk)	196	280
Efektif Yüzey Alanı	4,7m ²	0,9m ²
Konsantre Dudak Uzunluğu	14,6m	5,0m
Pervane Çapı	762mm	500mm

Şekil 3.2 köpük kamera sistemi tarafından sağlanmış olup, hücrelerin yüzeylerinde oluşan köpük yapıları arasındaki farkı göstermektedir. Flaş flotasyon hücresinde çok parlak ve tıknaz bir köpük yapısının bulunduğu görülmektedir. Kaba flotasyon devresinin birinci hücresinde flaş hücresine kıyasla köpük rengi daha koyudur. Bu hücre yüzeyinde bulunan mineralize olmuş hava kabarcıklarının şeklinin flaş hücredeki kabarcıklara göre daha küresel olduğu görülmektedir. Kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinin yüzeyinde gözlemlenen hava kabarcıklarının diğer iki hücreye kıyasla yeterince mineralize olmadığı ve kabarcıkların boyutları arasında belirgin farklar bulunduğu görülmektedir.



Şekil 3.2 İncelenen hücrelerin köpük görüntü sistemi tarafından görüntülenen köpük yüzey görüntüleri

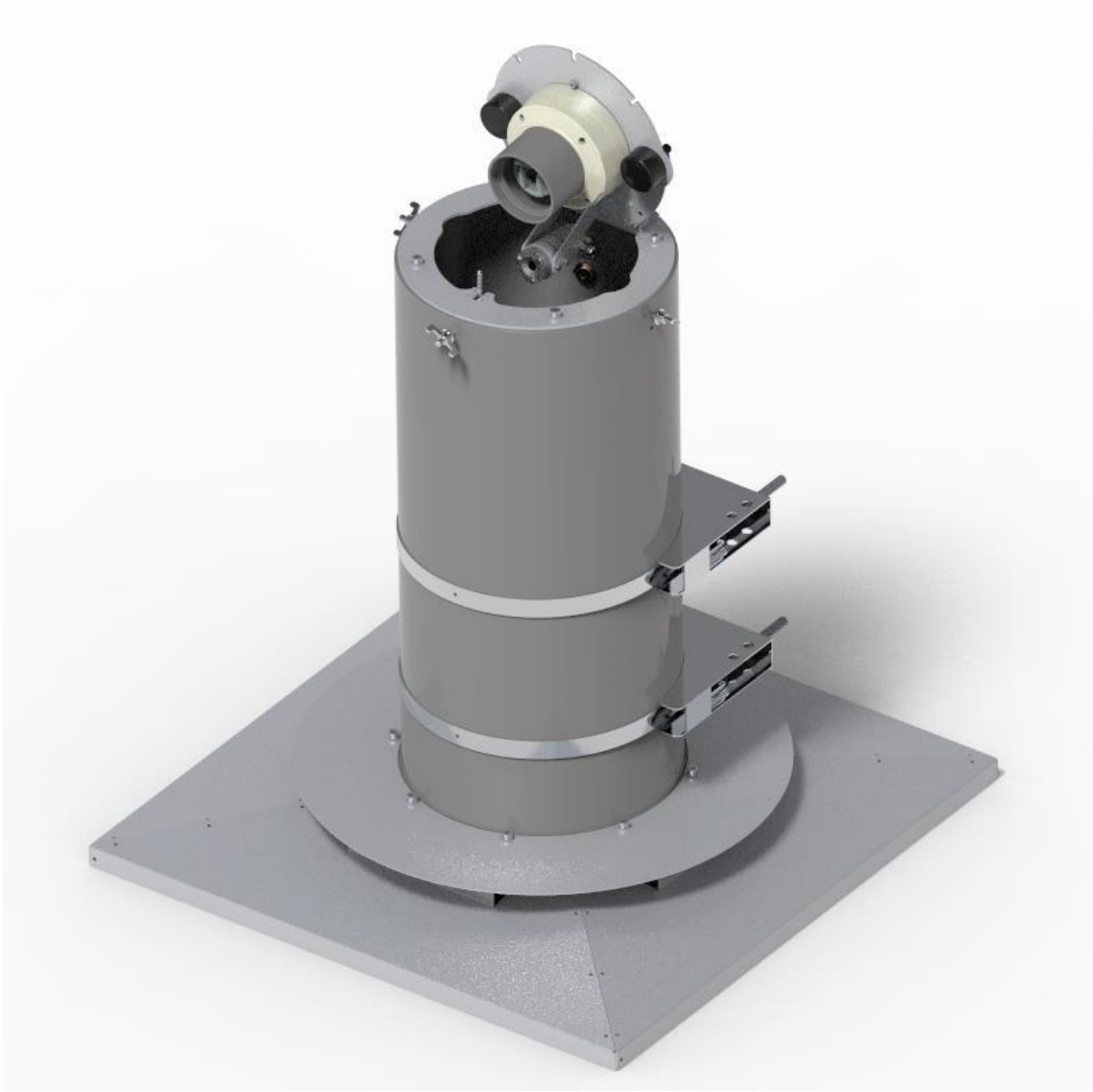
3.2. Köpük Kamera Sistemi

Gerçekleştirilen çalışmada Stone Three şirketine ait Köpük Kamera Sistemi MK5 kullanılmıştır. Endüstriyel ölçekli bu sensör, temel köpük parametrelerinin ölçümünde kullanılan yapay görme tabanlı bir sistemdir. Köpük Kamera Sistemi MK5 tarafından aşağıdaki köpük parametrelerinin ölçümü gerçekleştirilmektedir.

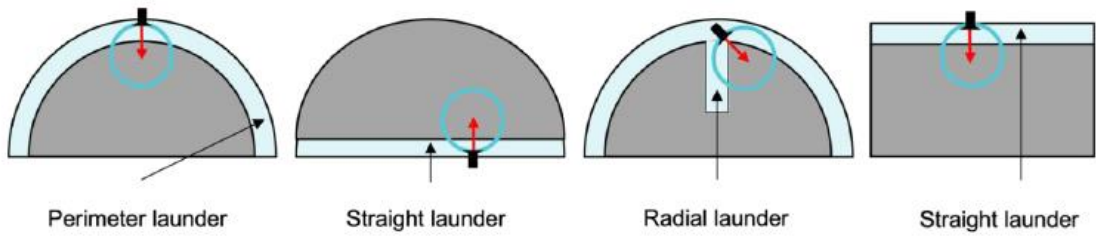
- Kabarcık hızı (mm/sn)
- Kabarcık boyu (mm)
- Köpük yüksekliği (mm) ve
- Köpük rengi (RGB, HSV, LAB)

Elde edilen köpük parametreleri flotasyon kontrolünün sağlanması, anlık performansın yorumlanması, köpük yapısının durumunun yorumlanması, hücre bazında katı kazanımının (kabarcık hızı ile pozitif ilişkili olduğu varsayılarak) ayarlanması gibi süreçlerin analizinde kullanılmaktadır. Bu sayede, flotasyon devresinin stabilizasyonunun ve optimizasyonunun sağlanabilmesine katkıda bulunarak metalurjik performansın iyileştirilmesinde kullanılabilir.

Köpük kamera sistemi bir adet Megapixel IP kamera, görüntü aldığı bölgeyi aydınlatması amacıyla iki adet yüksek lümenli LED ışık kaynağı, köpük mesafesini ölçmek için de bir adet lazer bulunduran bir muhafazadan oluşmaktadır. Hazneye ek olarak, güneş ışığı ya da yapay ışıklardan meydana gelebilecek yansımaları önlemek amacıyla bir adet güneşlik olarak kullanılan plaka bulunmaktadır. Sensör, flotasyon hücresinin dudağını dik konumda görebilecek şekilde montajlanmaktadır. Muhafazanın pozisyonu belirlenirken, dış etkenler (titreşim, buhar, vb.) göz önünde bulundurulmalıdır [74]. Flotasyon hücresinin değişen dudak tasarımına göre muhafazanın konumlandırılması için önerilen pozisyonlar Şekil 3.4'te gösterilmiştir [75].

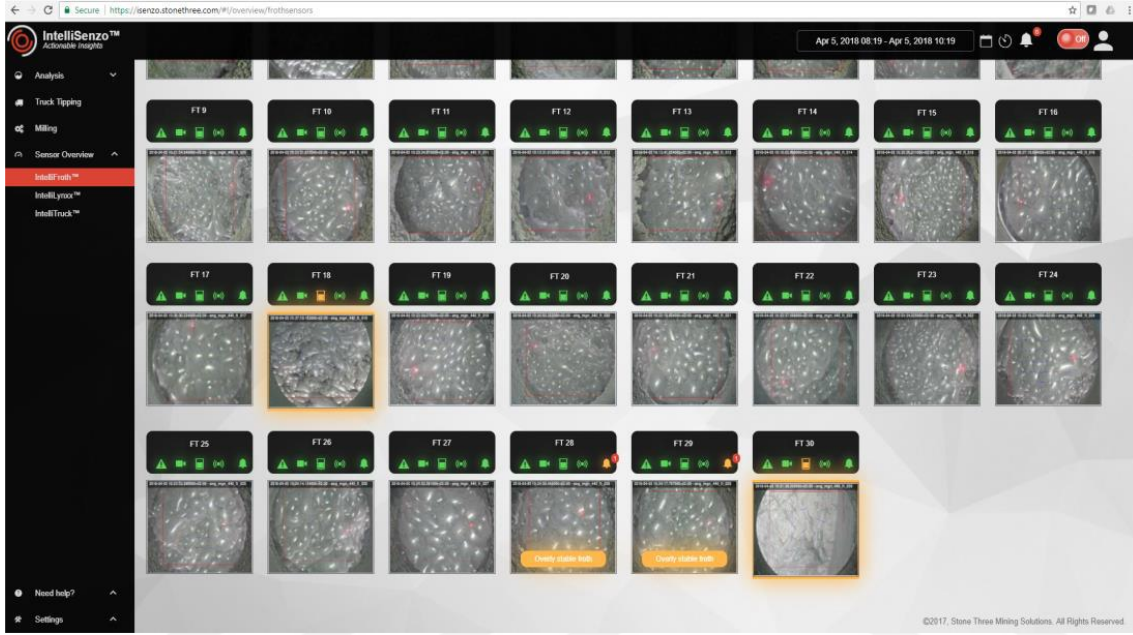


Şekil 3.3 Köpük görüntü sistemi kamera düzeneği [75]



Şekil 3.4 Köpük görüntü sisteminin hücre dudağında konumlandırılması önerilen bölgeler [75]

Köpük Kamera Sisteminin tesis SCADA sistemine entegrasyonu mümkündür. Web bazlı sistem arayüzünden çevrimiçi olarak anlık köpük görüntüsüne ve köpük parametrelerine ulaşılabilmektedir. Geçmişe yönelik köpük görüntüleri ve köpük parametre değerlerine ulaşılması mümkündür. Köpük parametrelerine, Microsoft Excel ile uyumlu olarak CSV dosyaları üzerinden ulaşılabilmektedir[74]. Sistem arayüzü örnek olarak Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5 Köpük görüntü sistem arayüzü [74]

3.3. Örneklem ve Hidrodinamik Ölçüm Çalışmaları

Değişen operasyonel koşulların hem flotasyon hücresinin metalurjik performansının hem de hücrenin köpük değişkenlerini etkilediği bilinmektedir. Bu bakımdan operasyonel koşullar bağımsız değişken, köpük değişkenleri ve metalurjik performans göstergeleri ise operasyonel koşullara bağlı olan bağımlı değişkenlerdir. Tez kapsamında incelenen flotasyon hücrelerinin köpük değişkenleri ile flotasyon performansı arasındaki ilişkiyi anlayabilmek için ilgili flotasyon hücresinin operasyonel koşulları değiştirilmiştir. Örneklem ve ölçüm çalışmaları flotasyon performansının elde edilebilmesi için gerçekleştirilmiştir.

Değiştirilen parametreler her hücre için tesis kısıtları sebebiyle farklılık göstermiştir. Bundan dolayı flaş flotasyon hücresinde palp seviyesi ve hava hızının etkileri incelenmiştir. Tesisin operasyonel koşulları nedeniyle kaba flotasyon devresinin ilk hücresinde sadece hava hızı ve köpürtücü dozajının etkileri incelenmiştir. Son hücrede ise palp seviyesi ve hava hızının etkileri incelenmiştir. Çizelge 3.2’de her hücre için manipüle edilen operasyonel parametreler gösterilmektedir.

Çizelge 3.2 Test Edilen Bağımsız Değişkenler/Operasyonel Koşullar

Test Edilen Bağımsız Değişkenler/Operasyonel Koşullar			
	Hava Hızı	Palp Seviyesi	Köpürtücü Dozajı
Flaş Hücre	+	+	-
Kaba İlk Hücre	+	-	+
Kaba Son Hücre	+	+	-

Tesiste palp seviyesi ve hava hızı değerleri kontrol odasındaki SCADA sistemi üzerinden ilgili valfin açıklığının değiştirilmesiyle ayarlanmaktadır. Örneğin palp seviyesinin düşürülmesi için ilgili hücrenin atık çıkışından sorumlu olan valfin açıklığının artırılmasıyla atık akışının miktarı artırılmaktadır. Böylece, hücre içerisindeki palp seviyesi azalırken, azalan palp seviyesine karşılık gelen hacme köpük fazı yerleşmektedir. Sonuç olarak palp seviyesi azalırken, köpük fazın yüksekliği artmakta ve ikisi arasında ters ilişki bulunmaktadır. Aynı şekilde hücrelere sağlanan hava miktarı, ilgili valfin açıklığının ayarlanmasıyla kontrol edilmektedir. Ancak, tesiste hücrelere verilen hava hızını ölçebilen ve bu değeri sayısal hale getirebilecek olan herhangi bir enstrüman bulunmamaktadır. Bundan dolayı, hücrelere verilen hava hızı değerleri hidrodinamik ölçümlerde kapsamında yapılan yüzeysel hava hızı ölçümleri üzerinden hesaplanmıştır. Tesiste köpürtücü eklemesi kaba flotasyon devresi için, kimyasal tankının besleme borusundan koşullandırma tankına yapılmaktadır. Köpürtücü dozajının ayarlanması manuel olarak mezür ve kronometre yardımıyla sağlanmıştır. Bu sayede birim zamanda beslenen köpürtücü miktarı ölçülebilmektedir. Kaba devrenin ilk hücresinde gerçekleştirilen köpürtücü dozajı testleri bu prosedür ile ayarlanmıştır.

Örnekleme ve hidrodinamik ölçüm çalışmalarını içeren her bir test sırasıyla üç aşamadan meydana gelmektedir. Birinci aşamada, incelenecek olan hücrenin performansını ve köpük parametrelerini değiştirebilmek için operasyonel koşullar yeni değerlerine ayarlanmıştır. İkinci aşamada, yeni değerlerine ayarlanmış olan operasyonel koşulların ortaya çıkardığı yeni metalurjik performansın elde edilebilmesi için hücre çevresinden numune alımı gerçekleştirilmiştir. Üçüncü aşamada ise hidrodinamik ölçümler yapılmıştır. Testler esnasında köpük kamera sisteminin çevrimiçi olarak kesintisiz bir şekilde ölçüm yaptığından emin olunmuştur. Her bir testin başlangıç ve bitiş zamanları o günün tarihi altında not alınmıştır. Böylece her bir test aralığını temsil eden köpük parametre değerleri ve tesis verileri elde edilebilmiştir.

Çalışma kapsamında incelenen her bir hücre için besleme, atık ve konsantre akışlarından numune alımı gerçekleştirilmiştir. Flaş hücresi için besleme numunesi bilyalı değirmen çıkışı; kaba ilk hücre için besleme numunesi hidrosiklon üst akışının beslendiği koşullandırma tankının içerisinden ve kaba son hücre için besleme numunesi bir önceki flotasyon hücresinin atık çıkışından alınmıştır. Flaş hücresinin atık numunesi hücre atık çıkışından, kaba ilk hücrenin atık numunesi kaba ikinci hücrenin besleme girişinden, kaba son hücrenin atık numunesi ise aynı hücrenin atık çıkışından alınmıştır. Atık numunelerinin toplanmasında şırınga tipi numune alıcı kullanılmıştır. Konsantre numuneleri her bir hücrenin dudağından uygun numune alıcı ile üst akıştan taşan malzemenin toplanmasıyla alınmıştır. Flaş ve kaba devrenin sonuncu hücreleri için konsantre numuneleri dudak uzunluğu bilinen numune alıcı ile toplanmıştır. Ancak, kaba ilk hücrede tesisin fiziksel kısıtlamaları sebebiyle konsantre numunesi cezve tipi numune alıcı kullanılarak alınabilmiştir. Flotasyon ve öğütme devresinin akım şeması Şekil 3.8'de verilmiştir. Çalışma kapsamında incelenen her bir hücre için besleme, atık ve konsantre akışlarını temsil eden noktalar akım şeması üzerinde numaralandırılarak gösterilmiştir. Flaş hücresi için 1,2 ve 3 numaralı akışlar; kaba ilk hücre için 4,5 ve 6 numaralı akışlar; kaba son hücre içinse 7,8 ve 9 numaralı akışlardan numune alımı gerçekleştirilmiştir.

İncelenen her hücrede numune alma çalışmalarının yanı sıra, hidrodinamik ölçümler de gerçekleştirilmiştir. Flaş hücresi için sadece yüzeysel hava hızı, kaba ilk ve son hücreler içinse hem yüzeysel hava hızı hem de hücre içerisindeki hacimsel hava miktarları ölçülmüştür. Yüzeysel hava hızı, dereceli 2 metre uzunluğundaki şeffaf pleksiglas tüp ile hücre içerisinden ölçülmüştür. Ölçüm tüpünün öncelikle alt taban çıkışı kapatılıp tamamen su ile doldurulmuştur. Daha sonra tüpün üst açıklığı tıkaç ile kapatılıp hücre içerisinde ölçümün gerçekleştirileceği noktaya daldırılmıştır. Ölçüm noktası sabitlendikten sonra alt tıkaç çıkarılmış ve palp içerisinde yükselmekte olan hava kabarcıkları ölçüm tüpünün içerisinde yükselmeye başlamıştır. Tüpün dereceli olması sebebiyle kronometre yardımıyla tüp içerisinde yükselen hava kabarcıklarının hızı hesaplanmıştır. Her bir test için üç sefer ölçüm yapılmıştır. Her bir hücrede farklı testlerdeki yüzeysel hava hızının ölçümünün alındığı bölge sabit tutulmuştur. Yüzeysel hava hızının ölçümünde kullanılan ekipman Şekil 3.6'da gösterilmektedir.

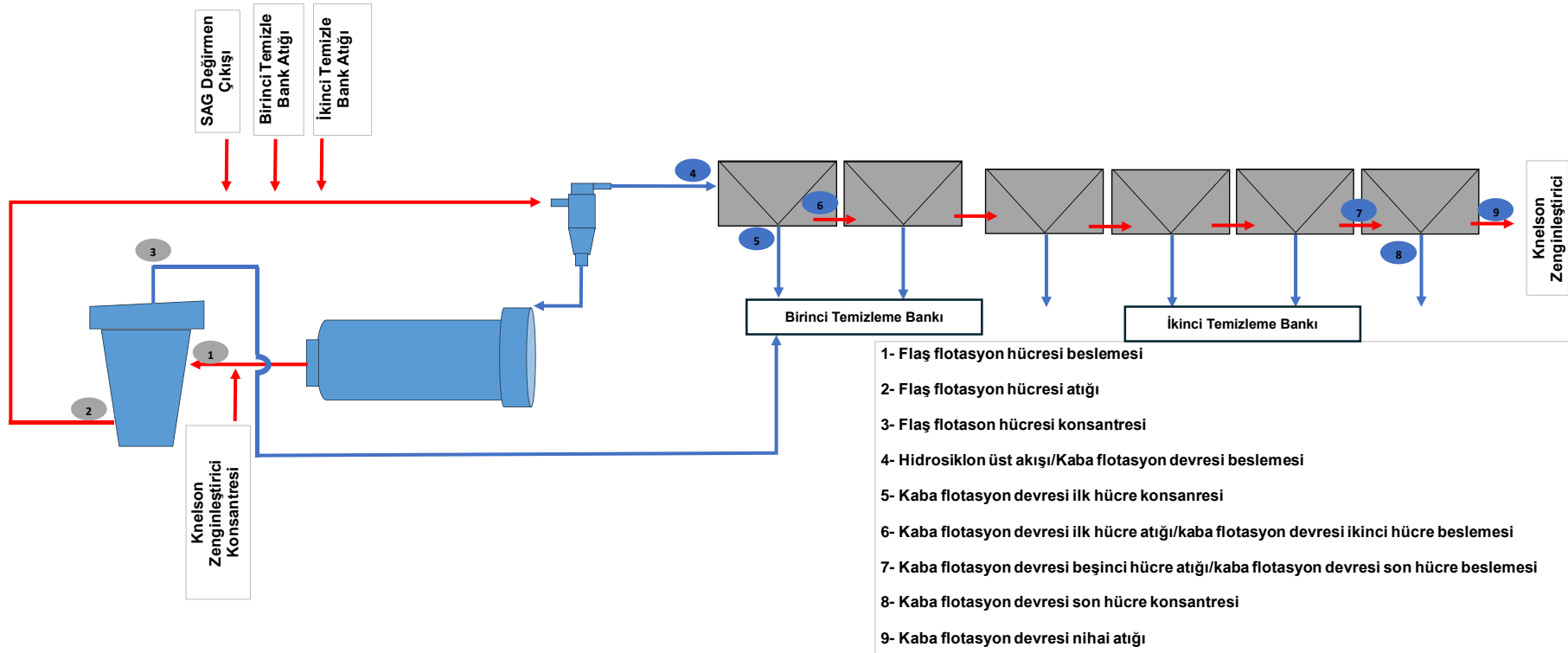


Şekil 3.6 Hava hızı ölçüm ekipmanı

Hidrodinamik ölçümler kapsamında hücrelerin hacimsel hava miktarlarını ölçmek için hacmi bilinen silindir hazneye sahip yay mekanizmalı bir ekipman kullanılmıştır. Mekanizmadaki yay sisteminin gerdirilmesiyle silindir haznenin üst ve alt çıkış açıklıklarının açılması sağlanmaktadır. Bu sayede silindir palpın içerisine daldırıldığında haznenin içerisinden palp ve hava kabarcıklarının geçişi sağlanabilmektedir. Hazne palpın içerisinde daldırdıktan sonra palpın hazne boyunca geçişinin sağlanabilmesi ve denge konumuna ulaşabilmesi için belirli bir sürenin geçmesi beklenmektedir. Daha sonra mekanizmaya bağlanmış olan telin gerdirilmesiyle haznenin yay sistemi ile bağlantılı olan üst ve alt çıkış açıklıklarının aniden kapatılması sonucu anlık olarak içeride bulunan palpın ve hava kabarcıklarının hazneye hapsolmesi sağlanmaktadır. Hazne içerisine hapsolmüş olan palp mezüre boşaltılarak palpın hacimsel miktarı bulunmaktadı. Silindirin toplam hacmi ile ölçülmüş olan palpın hacimleri arasındaki fark hacimsel olarak gaz miktarını temsil etmektedir. Hacimsel hava hızı ölçümlerinde kullanılmış olan ekipman Şekil 3.7'de gösterilmektedir.



Şekil 3.7 Hacimsel hava miktarı ölçüm ekipmanı



Şekil 3.8 Akım şeması

3.3.1.Flaş Hücresi

Flaş hücresi için çalışma kapsamında 16 adet test gerçekleştirilmiştir. İlk 11 test 12.10.2022 tarihinde, geri kalan 5 test ise 13.10.2022 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Flaş hücresi için gerçekleştirilen tüm testlerin tarih ve zaman aralıkları Çizelge 3.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.3 Flaş hücresi test bilgileri

Test No	Tarih	Koşullandırma Başlangıç	Numune Alımı Başlangıç	Konsantre Numunesi Alımı Başlangıç	Konsantre Numunesi Alım Süresi	Numune Alımı Bitiş
	gün/ay/yıl	saat	saat	saat	sn	saat
1	12/10/2022	10:15	10:29	10:45	65	10:51
2	12/10/2022	10:59	11:20	11:25	57	11:30
3	12/10/2022	11:30	11:50	11:55	80	11:58
4	12/10/2022	13:10	13:20	13:30	120	13:35
5	12/10/2022	13:36	13:53	13:57	60	14:00
6	12/10/2022	14:04	14:18	14:23	82	14:27
7	12/10/2022	14:30	14:45	14:50	30	14:53
8	12/10/2022	14:55	15:20	15:30	60	15:33
9	12/10/2022	15:40	15:57	16:03	61	16:06
10	12/10/2022	16:10	16:35	16:43	60	16:45
11	12/10/2022	16:50	17:06	17:13	60	17:16
12	13/10/2022	09:20	10:01	10:08	75	10:11
13	13/10/2022	10:22	10:40	10:44	31	10:46
14	13/10/2022	11:00	11:48	11:53	47	11:55
15	13/10/2022	12:00	12:20	12:24	60	12:28
16	13/10/2022	12:30	13:45	13:50	60	13:53

Flaş hücresinde her bir testte operasyonel koşullar farklı palp seviyelerinde ve hava hızı değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen her bir test ait olduğu köpük yüksekliği sınıfına göre kategorize edilmiştir. Bu bakımdan her bir testin değiştirilen operasyonel koşullar için ayarlanmış olan başlangıç değerleri Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4 Flaş hücresi test koşulları

Köpük Yüksekliği Sınıfı	Test No	Palp Seviyesi (%)	Hava Valf Açıklığı
Sığ Köpük Yüksekliği	9	93,00	0,15
	10	93,00	0,10
	11	93,00	0,06
	13	93,00	0,10
	14	93,00	0,07
Orta Seviye Köpük Yüksekliği	1	90,00	0,10
	2	90,00	0,25
	3	90,00	0,08
	4	90,00	0,05
	5	90,00	0,15
	12	93,00	0,05
	15	90,00	0,10
	16	90,00	0,10
Derin Köpük Yüksekliği	6	85,00	0,10
	7	85,00	0,15
	8	85,00	0,20

Flaş Hücresi Test Verileri

Flaş hücresi için tesiste besleme hacimsel akış miktarı, hücre köpük yüksekliği değeri, hücre palp seviyesi değeri ve pH değeri ölçümleri yapılmaktadır. Her bir test için başlangıç ve bitiş zamanları bildiğinden, testlere karşılık gelen ölçüm değerleri elde edilebilmektedir. Her bir testin mevcut olduğu zaman aralığı için flaş hücresine ait olan tesis verilerinin ortalama, medyan ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 3.5'te bu değerler gösterilmektedir.

Çizelge 3.5 Flaş hücresi tesis verileri

Test No	Ortalama Değeleri				Medyan Değeleri				Standart Sapma			
	Hacimsel Akış	Köpük Yüksekliği	pH	Palp Seviyesi	Hacimsel Akış (m ³ /saa)	Köpük Yüksekliği	pH	Palp Seviyesi	Hacimsel Akış (m ³ /saa)	Köpük Yüksekliği	pH	Palp Seviyesi
	(m ³ /sa)	(mm)		(%)	(m ³ /sa)	(mm)		(%)	(m ³ /sa)	(mm)		(%)
1	192,82	108,28	8,15	90,21	192,81	106,54	8,15	90,45	29,57	8,44	0,01	1,31
2	215,45	107,67	8,19	90,30	220,94	107,75	8,19	90,34	28,24	3,23	0,00	0,52
3	187,50	110,62	8,19	89,82	186,56	110,53	8,19	89,84	24,66	3,72	0,00	0,58
4	167,92	111,04	8,14	89,78	167,19	110,76	8,14	89,84	20,31	5,12	0,00	0,81
5	168,93	112,01	8,12	89,64	168,44	111,98	8,12	89,58	19,18	4,29	0,00	0,67
6	166,08	140,96	8,11	85,08	167,66	141,49	8,11	84,95	15,31	5,20	0,00	0,80
7	172,34	135,43	8,13	85,97	170,94	136,81	8,13	85,68	23,39	7,51	0,00	1,21
8	168,83	139,20	8,11	85,37	170,00	139,29	8,11	85,33	15,76	5,04	0,00	0,81
9	182,32	39,81	8,13	93,10	184,38	39,24	8,13	93,14	25,57	15,68	0,01	0,16
10	183,56	36,00	8,15	93,02	187,97	22,80	8,15	93,14	24,67	34,75	0,00	0,54
11	178,87	71,04	8,13	92,08	178,59	97,80	8,13	91,78	22,74	43,45	0,01	1,03
12	180,48	108,42	8,38	90,20	181,25	108,33	8,39	90,19	25,91	4,43	0,00	0,69
13	156,19	0,33	8,39	94,27	150,47	0,35	8,39	94,33	29,07	0,03	0,00	0,16
14	167,57	49,67	8,34	92,84	168,75	53,59	8,34	92,80	26,79	31,57	0,00	0,54
15	161,04	114,57	8,33	89,23	163,75	115,39	8,33	89,12	21,14	12,47	0,00	1,93
16	158,23	110,15	8,39	89,90	159,06	110,24	8,39	89,84	19,29	3,42	0,01	0,54

3.3.1.2. Flaş Hücresinde Hava Hızı Ölçümleri ve Hacimsel Hava Akışının Hesaplanması

Flaş hücresinde gerçekleştirilen tüm testler için yüzeysel hava hızı ölçüm sonuçları Çizelge 3.6'da verilmiştir. Her bir test için üç adet ölçüm değeri bulunmaktadır. Ölçüm değerleri ölçüm yapılan tüp içerisinde yükselerek birikmekte olan hava kabarcıklarının her 10 cm'lik aralık için geçirmiş oldukları süreyi saniye cinsinden temsil etmektedir.

Çizelge 3.6 Flaş hücresi hava hızı ölçümleri

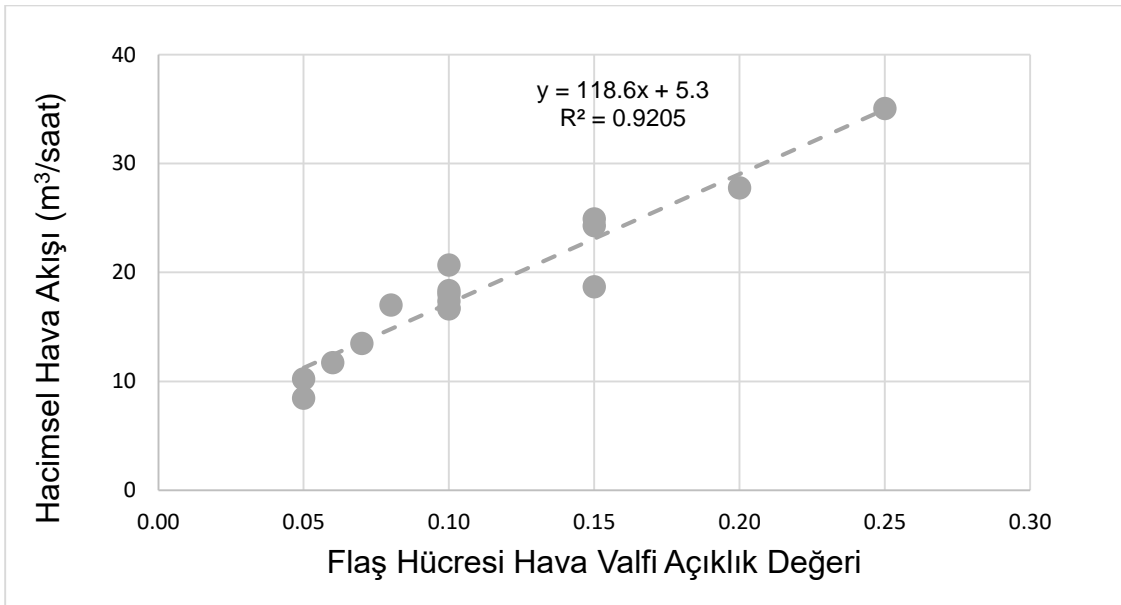
Test No	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ölçüm 1 J_g	Ölçüm 2 J_g	Ölçüm 3 J_g	Ortalama J_g	Ortalama J_g	Hacimsel Hava Akışı
	(sn)	(sn)	(sn)	(cm/sn)	(cm/sn)	(cm/sn)	(cm/sn)	(m/sa)	(m ³ /sa)
1	18,75	19,91	19,63	0,53	0,50	0,51	0,52	18,54	16,69
2	9,59	9,44	8,69	1,04	1,06	1,15	1,08	39,03	35,13
3	19,69	19,72	17,72	0,51	0,51	0,56	0,53	18,95	17,06
4	42,00	37,00	36,00	0,24	0,27	0,28	0,26	9,43	8,49
5	13,00	14,00	13,00	0,77	0,71	0,77	0,75	27,03	24,33
6	16,50	18,50	18,00	0,61	0,54	0,56	0,57	20,43	18,38
7	14,00	13,00	12,00	0,71	0,77	0,83	0,77	27,80	25,02
8	12,00	11,00	12,00	0,83	0,91	0,83	0,86	30,91	27,82
9	17,00	17,00	18,00	0,59	0,59	0,56	0,58	20,78	18,71
10	19,00	19,00	20,00	0,53	0,53	0,50	0,52	18,63	16,77
11	27,00	27,00	29,00	0,37	0,37	0,34	0,36	13,03	11,72
12	30,00	33,00	32,00	0,33	0,30	0,31	0,32	11,39	10,25
13	15,00	15,00	17,00	0,67	0,67	0,59	0,64	23,06	20,75
14	23,00	24,00	25,00	0,43	0,42	0,40	0,42	15,02	13,52
15	18,00	20,00	18,00	0,56	0,50	0,56	0,54	19,33	17,40
16	19,00	17,00	18,00	0,53	0,59	0,56	0,56	20,04	18,04

Her bir ölçüm değeri 10 cm'lik mesafe için geçen süreyi temsil ettiğinden, her bir değer 10'a bölünerek birim cm başına geçen süre bulunmuştur (cm/sn). Her bir test için üç ölçümün ortalaması alınarak "**Ortalama J_g** " değeri elde edilmiştir. Her bir testin ortalama değeri cm/sn biriminden m/sa birimine çevrilmiştir. Flaş hücresinin "**Etkin Yüzey Alanı**" (Çizelge 3.1) değeri (m²) ile ortalama yüzeysel hava hızı değeri (m/sa) çapılarak hacimsel hava akış miktarı (m³/sa) elde edilmiştir.

Hesaplanan hacimsel hava akışı değerleri ile bunlara karşılık gelen vana açıklık değerleri Çizelge 3.7’de verilmiştir. Şekil 3.9’da flaş hücrenin hava valfinin açıklığı ve hesaplanan hacimsel hava akışı arasında doğrusal bir ilişki bulunduğu görülmektedir.

Çizelge 3.7 Flaş hücre valf açıklığı ve hacimsel hava akışı değerleri

Test No	Valf Açıklığı	Hacimsel Hava Akışı
	(%)	(m ³ /sa)
1	0,10	16,69
2	0,25	35,13
3	0,08	17,06
4	0,05	8,49
5	0,15	24,33
6	0,10	18,38
7	0,15	25,02
8	0,20	27,82
9	0,15	18,71
10	0,10	16,77
11	0,06	11,72
12	0,05	10,25
13	0,10	20,75
14	0,07	13,52
15	0,10	17,40
16	0,10	18,04



Şekil 3.9 Flaş hücre valf açıklık ve hacimsel hava akışı ilişkisi

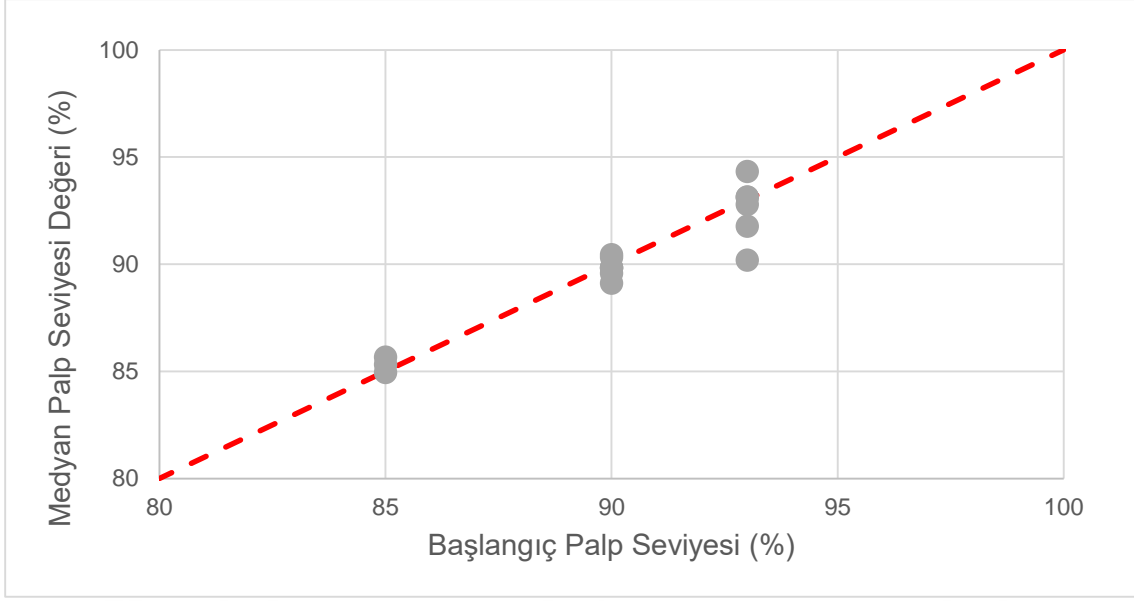
3.3.1.3. Flaş Hücresi Palp Seviyesi

Flaş hücresinde yapılan çalışma kapsamında 16 farklı test, farklı palp seviyelerinde test edilmiştir. Her bir test için palp seviyesi değerleri testlerin gerçekleştirildiği zaman aralıklarından çekilerek medyan değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 3.8’de her bir test için ayarlanmış olan başlangıç değerleri ve tesis verilerinden elde edilen palp seviyesi değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 3.8 Flaş hücrede palp seviyesi başlangıç ve tesis ölçümlerinin medyan değerleri

Test No	Başlangıç	Medyan
1	90	90,45
2	90	90,34
3	90	89,84
4	90	89,84
5	90	89,58
6	85	84,95
7	85	85,68
8	85	85,33
9	93	93,14
10	93	93,14
11	93	91,78
12	93	90,19
13	93	94,33
14	93	92,80
15	90	89,12
16	90	89,84

Başlangıçta ayarlanmış değerler ve tesis verilerinden çekilmiş olan palp seviyesi medyan değerleri Şekil 3.10’da karşılaştırılmıştır. İki veri seti arasında doğrusal bir uyum olduğu görülmektedir.



Şekil 3.10 Flaş hücresi palp seviyesi başlangıç ve tesis ölçümlerinin medyan değerleri ilişkisi

3.3.1.4. Flaş Hücresinde Numune % Katı Hesaplanması

Flaş hücresi etrafından alınan numunelerin yaş tartımları ve etüvde kurutulduktan sonraki kuru tartımları yapılmıştır. Buna göre elde flaş hücresinin besleme, konsantre ve atık akışlarının % katı miktarları hesaplanmıştır. Kuru tartımları alınan numuneler, kodlanarak kimyasal analize gönderilmiştir.

Çizelge 3.9'da her bir test için yaş ve kuru tartım değerleri verilmiştir. Çizelge 3.10'da her bir test için % katı değerleri hesaplanarak verilmiştir. Her bir numune için % katı değerleri Eşitlik 3-1 ile hesaplanmıştır.

$$\frac{\text{Kuru Tartım}}{\text{Yaş Tartım}} \times 100 = \% \text{ Katı}$$

Eşitlik 3-1

Çizelge 3.9 Flaş hücre numunelerinin yaş ve kuru tartımları

Test No	Yaş Tartım (g)			Kuru Tartım (g)		
	Besleme	Konsantre	Atık	Besleme	Konsantre	Atık
1	3083,3	4852,6	6110,1	1648,5	2960,6	3299,3
2	3115,5	3364,1	5975,2	1673,4	1948,5	3229,6
3	3111,7	4124,2	4187,0	1763,0	2586,2	2345,3
4	3014,4	4298,1	2598,1	1666,8	2738,2	1425,4
5	3061,1	3491,9	3005,4	1667,1	2069,3	1647,3
6	3111,6	3578,6	3206,6	1719,4	2084,7	1773,0
7	3064,5	2639,0	3313,4	1719,1	1524,5	1813,7
8	3088,2	2219,9	2591,3	1740,2	1265,1	1433,2
9	3158,8	5295,5	2935,5	1834,7	3004,8	1696,1
10	3103,7	6468,8	3424,8	1792,1	3566,2	1912,6
11	3151,6	4264,8	3115,4	1843,6	2478,3	1728,9
12	3110,3	3101,0	3300,2	1753,5	1902,5	1843,1
13	3080,1	8608,3	3419,0	1681,1	4564,5	1852,5
14	3100,2	3215,1	3338,9	1739,5	1867,2	1866,7
15	3120,5	3798,7	4058,8	1809,7	2265,2	2374,5
16	3159,2	3946,5	3582,5	1847,8	2370,9	2065,5

Çizelge 3.10 Flaş hücre numunelerinin % katı değerleri

Test No	% Katı		
	Besleme	Konsantre	Atık
1	53,47	61,01	54,00
2	53,71	57,92	54,05
3	56,66	62,71	56,01
4	55,29	63,71	54,86
5	54,46	59,26	54,81
6	55,26	58,25	55,29
7	56,10	57,77	54,74
8	56,35	56,99	55,31
9	58,08	56,74	57,78
10	57,74	55,13	55,85
11	58,50	58,11	55,50
12	56,38	61,35	55,85
13	54,58	53,02	54,18
14	56,11	58,08	55,91
15	57,99	59,63	58,50
16	58,49	60,08	57,66

3.3.1.5. Flaş Hücresi Konsantre ve Besleme Katı Akışı Hesaplanması

Flaş hücresinde gerçekleştirilen çalışmalar kapsamında her bir testin operasyonel koşullarını temsil eden konsantre numuneleri dudak uzunluğu bilinen numune alıcı ile toplanmıştır. Konsantre numunesinin toplanması esnasında kronometre yardımıyla zaman tutulmuştur. Her bir test için konsantre numunelerinin alınışının başlangıç ve bitiş zamanları Çizelge 3.3'te belirtilmiştir. Her bir konsantrenin alınmasında geçen süre konsantre alımının bitiş zamanından başlangıç zamanı çıkarılarak bulunmuştur. Toplanan her bir konsantre numunesinin katı ağırlıkları (Çizelge 3.9) ve flaş hücresi dudak uzunluğu (Çizelge 3.1) bilindiğinden flaş hücresi için saatlik katı akış miktarı hesaplanabilmiştir. Çalışma esnasında flaş hücresinde dudak uzunluğu boyunca yaklaşık 1 m uzunluğundaki bölgeden konsantre akışının gerçekleşmediği görülmüştür. Bunun sebebi olarak hücreyi taşıyan platformun ayakları arasındaki 1 cm'lik fark olduğu söylenmiştir. Bundan dolayı flaş hücresi için konsantre katı akışı hesaplanırken 1 m'lik ölü bölge göz önünde bulundurulmuştur. Flaş hücrenin aktif dudak uzunluğu ve numune alıcının dudak uzunlukları Çizelge 3.11'de verilmiştir. Çizelge 3.12'de flaş hücresi için her bir testin konsantre katı akışı gösterilmiştir.

Çizelge 3.11 Flaş hücre dudak uzunluğu bilgileri

Flaş hücresi konsantre dudak uzunluğu	5 m
Ölü bölge uzunluğu	1 m
Aktif dudak uzunluğu	4 m
Numune alıcı dudak uzunluğu	40,5 cm
Aktif dudak uzunluğu / Numune alıcı dudak uzunluğu	9,88

Çizelge 3.12 Flaş hücre konsantre akışı bilgileri

Test No	Konsantre Numunesi Alınma Süresi	Kuru Konsantre Numune Ağırlığı	Kuru Konsantre Numune Ağırlığı	Hücre Dudağı Boyunca Konsantre Akışı	Hücre Konsantre Katı Akışı
	(sn)	(g)	(kg/sn)	(kg/sn)	(t/sa)
1	65	2960,6	2,9606	29,24	1,62
2	57	1948,5	1,9485	19,24	1,22
3	80	2586,2	2,5862	25,54	1,15
4	120	2738,2	2,7382	27,04	0,81
5	60	2069,3	2,0693	20,44	1,23
6	82	2084,7	2,0847	20,59	0,90
7	30	1524,5	1,5245	15,06	1,81
8	60	1265,1	1,2651	12,49	0,75
9	61	3004,8	3,0048	29,68	1,75
10	60	3566,2	3,5662	35,22	2,11
11	60	2478,3	2,4783	24,48	1,47
12	75	1902,5	1,9025	18,79	0,90
13	31	4564,5	4,5645	45,08	5,24
14	47	1867,2	1,8672	18,44	1,41
15	60	2265,2	2,2652	22,37	1,34
16	60	2370,9	2,3709	23,42	1,40

Flaş hücreesinde her bir test için hacimsel besleme akışları (m³/sa) tesis verilerinden elde edilmiştir (Çizelge 3.5) Tesiste flaş hücreye beslenen malzemenin özgül ağırlığı 2,83 g/cm³'tür (suyun yoğunluğu 1 (g/cm³) olarak alınmıştır). Flaş hücresi için besleme % katı değerleri her bir test için bilinmektedir (Çizelge 3.10). Bu bilgiler göz önünde bulundurularak flaş hücresi için Eşitlik 3-2 ve Eşitlik 3-3 yazılmıştır.

$$m_s = \text{Besleme saatlik katı akışı } \left(\frac{t}{sa}\right)$$

$$m_w = \text{Besleme saatlik su akışı } \left(\frac{t}{sa}\right)$$

$$\rho_s = \text{Beslemedeki cevherin yoğunluğu } \left(\frac{t}{m^3}\right)$$

$$\rho_w = \text{Beslemedeki suyu yoğunluğu } \left(\frac{t}{m^3}\right)$$

$$\frac{m_s}{m_s+m_w} \times 100 = \% \text{ katı} \quad \text{Eşitlik 3-2}$$

$$\frac{m_s}{\rho_s} + \frac{m_w}{\rho_w} = \text{Hacimsel Besleme Akışı } \left(\frac{m^3}{sa}\right) \quad \text{Eşitlik 3-3}$$

Bu iki denklem birbirlerine eşitlenerek m_s ve m_w değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$m_s = \frac{\text{Hacimsel Besleme Akışı}}{\left[\left(\frac{1}{\% \text{ katı}}\right) - 1\right] + \frac{1}{\rho_s}} \quad \text{Eşitlik 3-4}$$

$$m_w = \left[\left(\frac{1}{\% \text{ katı}}\right) - 1\right] \times m_s \quad \text{Eşitlik 3-5}$$

Çizelge 3.13'te flaş hücresi için her bir testin besleme tonajlarını göstermektedir.

Çizelge 3.13 Flaş hücre besleme akışı bilgileri

Test No	Katı	Su	Palp
	(t/sa)	(t/sa)	(t/sa)
1	157,48	137,07	294,55
2	177,52	152,99	330,51
3	167,58	128,20	295,78
4	144,55	116,87	261,41
5	142,03	118,76	260,79
6	142,89	115,69	258,58
7	151,61	118,65	270,26
8	149,69	115,95	265,65
9	169,44	122,28	291,72
10	168,88	123,60	292,48
11	168,11	119,27	287,38
12	160,33	124,05	284,38
13	131,83	109,71	241,54
14	147,46	115,35	262,81
15	149,51	108,29	257,80
16	148,97	105,72	254,69

3.3.2.Kaba Flotasyon Devresi Birinci Hücre

Yapılan çalışma kapsamında kaba flotasyon devresinin ilk ve son hücrelerinde de operasyonel koşullar değiştirilerek köpük kamera sistemi ile görüntü alınarak testler gerçekleştirilmiştir. Kaba flotasyon devresinin birinci hücresi için 10 adet test 28.11.2022 ve 29.11.2022 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Kaba flotasyon devresinin birinci hücresi için gerçekleştirilen tüm testlerin tarih ve zaman aralıkları Çizelge 3.14'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.14 Kaba flotasyon devresi birinci hücre test bilgileri

Test No	Tarih	Koşullandırma Başlangıç	Numune Alımı Başlangıç	Numune Alımı Bitiş
	gün/ay/yıl	saat	saat	saat
1	28/11/2022	11:00	11:05	11:35
2	28/11/2022	11:40	11:55	12:15
3	28/11/2022	12:15	12:30	12:44
4	28/11/2022	13:57	14:00	14:14
5	28/11/2022	14:15	14:30	14:44
6	28/11/2022	14:50	15:50	16:01
7	28/11/2022	16:03	16:25	16:36
8	29/11/2022	10:13	10:50	11:03
9	29/11/2022	11:05	11:45	11:58
10	29/11/2022	12:00	12:30	12:42

Kaba flotasyon devresinin birinci hücresi için gerçekleştirilen her bir testte operasyonel koşullar farklı hava hızı değerlerine ayarlanmıştır. Bu hücre için palp seviyesi tesisin operasyonel koşulları sebebiyle değiştirilememiştir. Bu hücre kapsamında gerçekleştirilen testlerde köpürtücü dozajının etkisini incelemek için bazı testlerde köpürtücü dozajı iki katına çıkartılmıştır. Gerçekleştirilen her bir test ait olduğu köpürtücü dozajı sınıfına göre kategorize edilmiştir. Bu bakımdan her bir testin değiştirilen operasyonel koşullar için ayarlanmış olan başlangıç değerleri Çizelge 3.15'te verilmiştir.

Çizelge 3.15 Kaba flotasyon devresi birinci hücre test koşulları

Köpürtücü Dozajı	Test No	Hava Valf Açıklığı
5 ml/dk	1	11
	2	10
	3	9
	4	15
	5	11
10 ml/dk	6	11
	7	15
	8	12
	9	12
	10	11

3.3.2.1.Kaba Flotasyon Devresi Birinci Hücre Tesis Verileri

Kaba flotasyon devresinin birinci hücresi için tesiste konsantre hacimsel akış miktarı, hücre köpük yüksekliği değeri, hücre palp seviyesi değeri ve koşullandırma tankı pH değeri ölçümleri yapılmaktadır. Her bir test için başlangıç ve bitiş zamanları bildiğinden, testlere karşılık gelen ölçüm değerleri elde edilebilmektedir. Her bir testin mevcut olduğu zaman aralığı için kaba flotasyon devresinin birinci hücresine ait olan tesis verilerinin ortalama, medyan ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 3.16 bu değerler gösterilmektedir.

Çizelge 3.16 Kaba flotasyon devresi birinci hücre tesis verileri

Test No	Ortalama Değerleri				Medyan Değerleri				Standart Sapma			
	Konsantrasyon Hacimsel Akış	Besleme Hacimsel Akış	pH	Palp Seviyesi	Konsantrasyon Hacimsel Akış	Besleme Hacimsel Akış	pH	Palp Seviyesi	Konsantrasyon Hacimsel Akış	Besleme Hacimsel Akış	pH	Palp Seviyesi
	(m ³ /sa)	(m ³ /sa)		(%)	(m ³ /sa)	(m ³ /sa)		(%)				
1	34,10	227,15	7,01	95,50	34,03	227,40	7,01	95,50	1,69	8,07	0,00	0,18
2	27,50	227,87	7,02	95,80	27,22	229,06	7,02	95,90	3,94	7,67	0,01	0,26
3	17,65	220,49	7,04	96,00	14,93	217,71	7,04	96,00	5,10	9,09	0,00	0,17
4	43,81	221,66	7,03	93,50	43,75	221,81	7,03	93,50	1,51	8,15	0,00	0,17
5	33,00	217,96	7,02	94,30	28,54	214,72	7,02	94,60	7,41	7,58	0,00	0,67
6	36,21	226,47	7,01	94,30	33,78	226,01	7,01	94,30	5,15	6,16	0,00	0,56
7	50,79	231,01	7,00	93,30	50,69	231,39	7,00	93,30	1,51	11,33	0,00	0,16
8	42,71	238,71	7,01	93,90	43,47	241,01	7,01	93,90	4,48	14,86	0,00	0,19
9	30,82	225,18	7,01	93,90	30,69	226,28	7,00	93,90	1,79	16,19	0,00	0,18
10	21,15	230,21	6,97	95,20	21,25	232,88	6,98	95,10	1,55	11,68	0,00	0,19

3.3.2.2.Kaba Flotasyon Devresi Birinci Hücresinde Hava Hızı Ölçümleri ve Hacimsel Hava Akışının Hesaplanması

Kaba flotasyon devresinin birinci hücresinde gerçekleştirilen tüm testler için yüzeysel hava hızı ölçüm sonuçları Çizelge 3.17’de verilmiştir. Her bir test için üç adet ölçüm değeri bulunmaktadır. Ölçüm değerleri, ölçüm yapılan tüp içerisinde yükselerek birikmekte olan hava kabarcıklarının her 10 cm’lik aralık için geçirmiş oldukları süreyi saniye cinsinden temsil etmektedir.

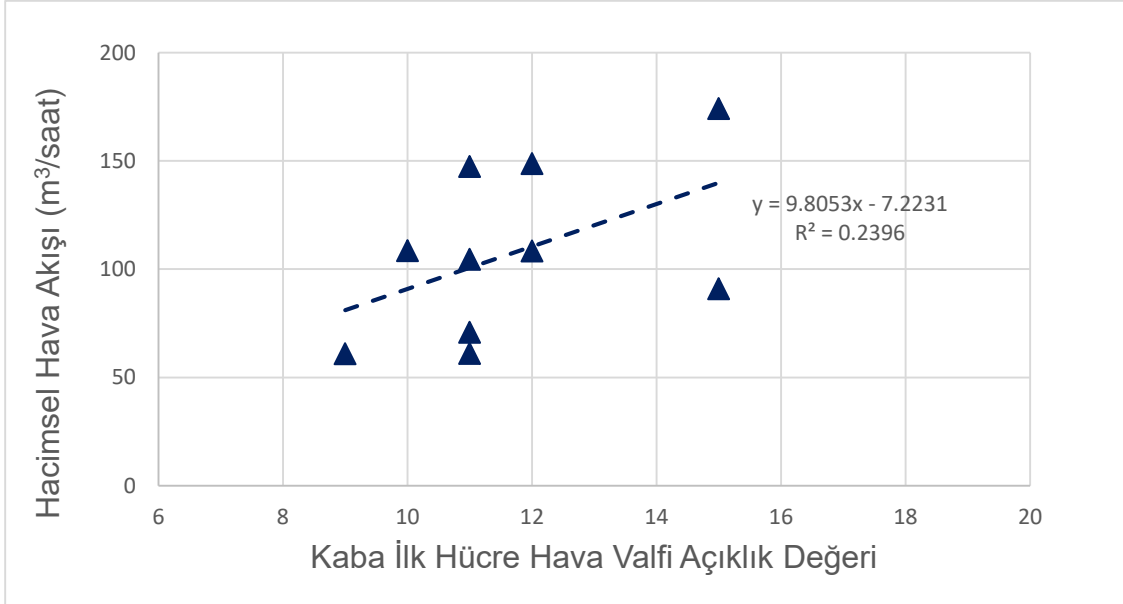
Çizelge 3.17 kaba flotasyon devresi birinci hücre hava hızı ölçümleri

Test No	10 cm	20 cm	30 cm	10 cm	20 cm	30 cm	Ortalama J_g	Ortalama J_g	Hacimsel Hava Akışı
	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ölçüm 1 J_g	Ölçüm 2 J_g	Ölçüm 3 J_g			
	(sn)	(sn)	(sn)	(cm/sn)	(cm/sn)	(cm/sn)	(cm/sn)	(m/sa)	(m ³ /sa)
1	11	23	36	0,91	0,87	0,83	0,87	31,3	147,3
2	15	31	49	0,67	0,65	0,61	0,64	23,1	108,5
3	28	55	84	0,36	0,36	0,36	0,36	12,9	60,8
4	18	36	60	0,56	0,56	0,50	0,54	19,3	90,9
5	24	48	71	0,42	0,42	0,42	0,42	15,1	70,8
6	17	32	47	0,59	0,63	0,64	0,62	22,2	104,4
7	10	19	29	1,00	1,05	1,03	1,03	37,0	174,1
8	17	30	45	0,59	0,67	0,67	0,64	23,1	108,4
9	11	23	35	0,91	0,87	0,86	0,88	31,6	148,7
10	28.5	56	80	0,35	0,36	0,38	0,36	13,0	61,1

Her bir ölçüm değeri sırasıyla 10, 20 ve 30 cm’lik mesafe için geçen süreyi temsil ettiğinden, her bir değer temsil ettiği mesafeye bölünerek birim cm başına geçen süre bulunmuştur (cm/sn). Her bir test için üç ölçümün ortalaması alınarak “Ortalama J_g ” değeri elde edilmiştir. Her bir testin ortalama değeri cm/sn biriminden m/sa birimine çevrilmiştir. Kaba flotasyon devresi hücreleri için “Etkin Yüzey Alanı” (Çizelge 3.1) değeri (m²) ile ortalama yüzeysel hava hızı değeri (m/sa) çapılarak hacimsel hava akış miktarı (m³/sa) elde edilmiştir. Hesaplanan hacimsel hava akışı değerleri ile bunlara karşılık gelen vana açıklık değerleri Çizelge 3.18’de verilmiştir. Şekil 3.11’de kaba flotasyon devresinin birincim hücresinde hava valfi açıklığının ölçülen hacimsel hava akışı değerleri ile ilişkisi gösterilmektedir.

Çizelge 3.18 Kaba flotasyon devresi birinci hücre valf açıklığı ve hacimsel hava akışı değerleri

Test No	Valf Açıklığı	Hacimsel Hava Akışı
1	11	147,32
2	10	108,52
3	9	60,79
4	15	90,87
5	11	70,83
6	11	104,43
7	15	174,11
8	12	108,38
9	12	148,66
10	11	61,08



Şekil 3.11 Kaba flotasyon devresi birinci hücre valf açıklık ve hacimsel hava akışı ilişkisi

3.3.2.3. Kaba Flotasyon Devresi Birinci Hücrede Hacimsel Hava Tutma Miktarının Hesaplanması

Kaba flotasyon devresinin birinci hücresinde gerçekleştirilen tüm testler için hücrenin hacimsel hava tutma ölçüm sonuçları Çizelge 3.19'da verilmiştir. Her bir test için iki adet ölçüm değeri bulunmaktadır. Ölçüm için kullanılan ekipmanın (Şekil 3.7) hacmi 1040 ml'dir. Her bir ölçüm sonunda haznenin içerisindeki palp mezüre alınarak hacmi ölçülmüştür. Ölçüm 1 ve 2 haznenin içerisindeki palp hacmini temsil etmektedir. Her bir ölçüm için hava hacmi değerleri haznenin hacminden (1040 ml) palp hacminin çıkarılmasıyla hazne içerisine hapsolan hava hacmini temsil etmektedir. % hacimsel hava miktarı değerleri her bir ölçümde hacimce hazne içerisinde bulunan havanın tüm haznenin hacmine yüzde oranı olarak hesaplanmıştır. Her bir test için iki ölçümün ortalaması alınarak % ortalama hacimsel hava miktarı değeri bulunmuştur.

Çizelge 3.19 Kaba flotasyon devresi birinci hücre hacimsel hava tutma ölçümleri

Test No	Ölçüm 1 Palp Hacmi	Ölçüm 2 Palp Hacmi	Ölçüm 1 Hava Hacmi	Ölçüm 2 Hava Hacmi	Hacimsel Hava Miktarı 1	Hacimsel Hava Miktarı 2	Ortalama Hacimsel Hava Miktarı
	(ml)	(ml)	(ml)	(ml)	(%)	(%)	(%)
1	980	990	60	50	5,77	4,81	5,29
2	1020	1020	20	20	1,92	1,92	1,92
3	1010	1020	30	20	2,88	1,92	2,40
4	980	980	60	60	5,77	5,77	5,77
5	1000	990	40	50	3,85	4,81	4,33
6	990	980	50	60	4,81	5,77	5,29
7	950	950	90	90	8,65	8,65	8,65
8	940	950	100	90	9,62	8,65	9,13
9	930	940	110	100	10,58	9,62	10,10
10	950	965	90	75	8,65	7,21	7,93

3.3.2.4.Kaba Flotasyon Devresi Birinci Hücrede Numune % Katı Hesaplanması

Kaba flotasyon devresinin birinci hücresi etrafından alınan numunelerin yaş tartımları ve etüvde kurutulduktan sonraki kuru tartımları alınmıştır. Buna göre ilk hücrenin besleme, konsantre ve atık akışlarının % katı miktarları hesaplanmıştır. Kuru tartımları alınan numuneler, kodlanarak kimyasal analize gönderilmiştir. Çizelge 3.20'de her bir test için yaş ve kuru tartım değerleri verilmiştir. Çizelge 3.21'de her bir test için % katı değerleri Eşitlik 3-1 hesaplanmıştır.

Çizelge 3.20 Kaba flotasyon devresi birinci hücre numunelerinin yaş ve kuru tartımları

Test No	Yaş Tartım (g)			Kuru Tartım (g)		
	Besleme	Konsantre	Atık	Besleme	Konsantre	Atık
1	2438,30	2794,30	3720,20	880,90	992,00	1313,30
2	3791,60	2636,00	4016,35	1354,00	931,30	1408,00
3	3828,30	3604,70	4095,60	1394,30	1332,50	1468,00
4	2866,30	2385,30	3709,10	1017,20	860,00	1339,10
5	2856,80	1461,80	3729,70	1016,80	512,80	1319,30
6	2881,60	2118,80	3763,70	1004,10	726,10	1297,20
7	2802,80	1944,20	3813,60	969,60	667,00	1311,40
8	2932,60	1584,30	3748,30	969,50	509,80	1218,60
9	2932,50	1489,10	3807,80	954,10	477,00	1232,10
10	2746,30	1644,70	3875,50	915,70	549,70	1287,30

Çizelge 3.21 Kaba flotasyon devresi birinci hücre numunelerinin % katı değerleri

Test No	% Katı		
	Besleme	Konsantre	Atık
1	36,13	35,50	35,30
2	35,71	35,33	35,06
3	36,42	36,97	35,84
4	35,49	36,05	36,10
5	35,59	35,08	35,37
6	34,85	34,27	34,47
7	34,59	34,31	34,39
8	33,06	32,18	32,51
9	32,54	32,03	32,36
10	33,34	33,42	33,22

3.3.2.5.Kaba Flotasyon Devresi Birinci Hücrede Besleme ve Konsantre Katı Akışı Hesaplanması

Tesiste kaba flotasyon devresinin birinci hücresinin konsantre ve besleme akışları debi ölçer ile ölçülmektedir. Bu hücre için tesis verilerinden elde edilmiş hacimsel akış değerleri (m³/sa) Çizelge 3.16'da gösterilmiştir. Bu hücreden elde edilen beslemenin ve konsantrenin özgül ağırlıkları 2.8 g/cm³ ve 4.3 g/cm³tür (suyun yoğunluğu 1 (g/cm³) olarak alınmıştır). Bu hücre için besleme ve konsantre % katı değerleri her bir test için bilinmektedir (Çizelge 3.21). Bu bilgiler göz önünde bulundurularak kaba flotasyon devresinin birinci hücresinin besleme katı akışı ve konsantre katı akışı, flaş hücresi için kullanılan Eşitlik 3-4 ve Eşitlik 3-5 ile bulunmuştur. Çizelge 3.22'de kaba flotasyon devresinin ilk hücresi için her bir testin besleme ve konsantre tonajlarını göstermektedir.

Çizelge 3.22 Kaba flotasyon devresi birinci hücre konsantre ve besleme akışları

Test No	Besleme Akışı			Konsantre Akışı		
	Katı (t/sa)	Su (t/sa)	Palp (t/sa)	Katı (t/sa)	Su (t/sa)	Palp (t/sa)
1	107,00	189,18	296,18	16,60	30,17	46,77
2	106,17	191,14	297,32	13,20	24,15	37,35
3	103,53	180,73	284,26	7,71	13,14	20,84
4	101,98	185,38	287,36	21,81	38,68	60,49
5	99,10	179,33	278,43	13,70	25,36	39,06
6	101,49	189,76	291,25	15,71	30,13	45,84
7	102,94	194,62	297,56	23,61	45,20	68,81
8	101,18	204,87	306,05	18,58	39,15	57,73
9	93,09	193,04	286,13	13,04	27,66	40,70
10	98,84	197,58	296,42	9,55	19,03	28,58

3.3.3.Kaba Flotasyon Devresi Sonuncu Hücre

Kaba flotasyon devresinin son hücresi için 14 adet test 01.12.2022 ve 02.12.2022 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresi için gerçekleştirilen tüm testlerin tarih ve zaman aralıkları Çizelge 3.23'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.23 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücre test bilgileri

Test No	Tarih	Koşullandırma Başlangıç	Numune Alımı Başlangıç	Numune Alımı Bitiş
	gün/ay/yıl	saat	saat	saat
12	01/12/2022	9:40	9:51	10:05
13	01/12/2022	10:05	10:15	10:31
14	01/12/2022	10:42	10:53	11:00
15	01/12/2022	11:24	11:30	11:40
16	01/12/2022	11:42	11:50	11:57
17	01/12/2022	12:01	12:16	12:21
18	01/12/2022	12:32	12:40	12:45
19	01/12/2022	13:00	14:00	14:18
20	01/12/2022	14:20	14:28	14:35
21	01/12/2022	14:45	15:00	15:08
22	01/12/2022	15:25	15:35	15:45
23	02/12/2022	9:27	10:21	10:31
24	02/12/2022	11:57	12:08	12:15
25	02/12/2022	12:20	12:39	12:44

Kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresi için gerçekleştirilen her bir testte operasyonel koşullar farklı palp seviyelerinde ve hava hızı değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen her bir test ait olduğu köpük yüksekliği sınıfına göre kategorize edilmiştir. Bu bakımdan her bir testin değiştirilen operasyonel koşullar için ayarlanmış olan başlangıç değerleri Çizelge 3.24'te verilmiştir.

Çizelge 3.24 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücre test koşulları

Köpük Yüksekliği Sınıfı	Test No	Palp Seviyesi (%)	Hava Valf Açıklığı
Sığ Köpük Yüksekliği	16	95,00	60,00
	17	95,00	30,00
	18	95,00	80,00
Orta Seviye Köpük Yüksekliği	20	93,00	30,00
	21	93,00	60,00
	22	93,00	80,00
	23	93,00	40,00
	24	93,00	40,00
	25	93,00	40,00
Derin Köpük Yüksekliği	12	91,00	30,00
	13	91,00	40,00
	14	91,00	60,00
	15	91,00	100,00
	19	88,00	80,00

3.3.3.1.Kaba Flotasyon Devresi Sonuncu Hücresi Tesis Verileri

Kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresi için tesiste atık hacimsel akış miktarı ve hücre palp seviyesi değeri ölçümleri yapılmaktadır. Her bir test için başlangıç ve bitiş zamanları bildiğinden, testlere karşılık gelen ölçüm değerleri elde edilebilmektedir. Her bir testin mevcut olduğu zaman aralığı için kaba flotasyon devresinin sonuncu hücrelerine ait olan tesis verilerinin ortalama, medyan ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 3.25'te bu değerler gösterilmektedir

Çizelge 3.25 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücre tesis verileri

Test No	Ortalama Değeleri		Medyan Değeleri		Standart Sapma	
	Atık Hacimsel Akış (m ³ /sa)	Palp Seviyesi (%)	Atık Hacimsel Akış (m ³ /sa)	Palp Seviyesi (%)	Atık Hacimsel Akış (m ³ /sa)	Palp Seviyesi (%)
12	125,44	91,25	125,00	91,15	8,26	0,34
13	127,01	90,97	128,13	91,00	10,41	0,30
14	129,38	90,88	128,13	90,91	7,40	0,24
15	127,52	91,02	127,19	91,03	11,66	0,21
16	126,60	91,11	127,03	91,17	17,02	0,40
17	72,10	95,60	84,69	96,15	32,55	1,10
18	50,26	92,75	52,50	92,16	34,23	1,99
19	142,44	87,95	142,50	87,96	11,03	0,34
20	144,15	87,99	144,38	88,02	8,17	0,40
21	106,95	92,78	106,56	92,77	9,76	0,23
22	96,09	92,97	97,19	93,00	11,05	0,23
23	79,22	91,86	78,28	91,91	12,15	0,89
24	119,14	92,95	118,44	92,90	5,39	0,21
25	116,66	93,02	116,25	93,00	8,18	0,30

3.3.3.2.Kaba Flotasyon Devresi Sonuncu Hücresinde Hava Hızı Ölçümleri ve Hacimsel Hava Akışının Hesaplanması

Kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinde gerçekleştirilen tüm testler için yüzeysel hava hızı ölçüm sonuçları Çizelge 3.26’da verilmiştir. Her bir test için üç adet ölçüm değeri bulunmaktadır. Ölçüm değerleri ölçüm yapılan tüp içerisinde yükselerek birikmekte olan hava kabarcıklarının her 10 cm’lik aralık için geçirmiş oldukları süreyi saniye cinsinden temsil etmektedir.

Çizelge 3.26 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücre hava hızı ölçümleri

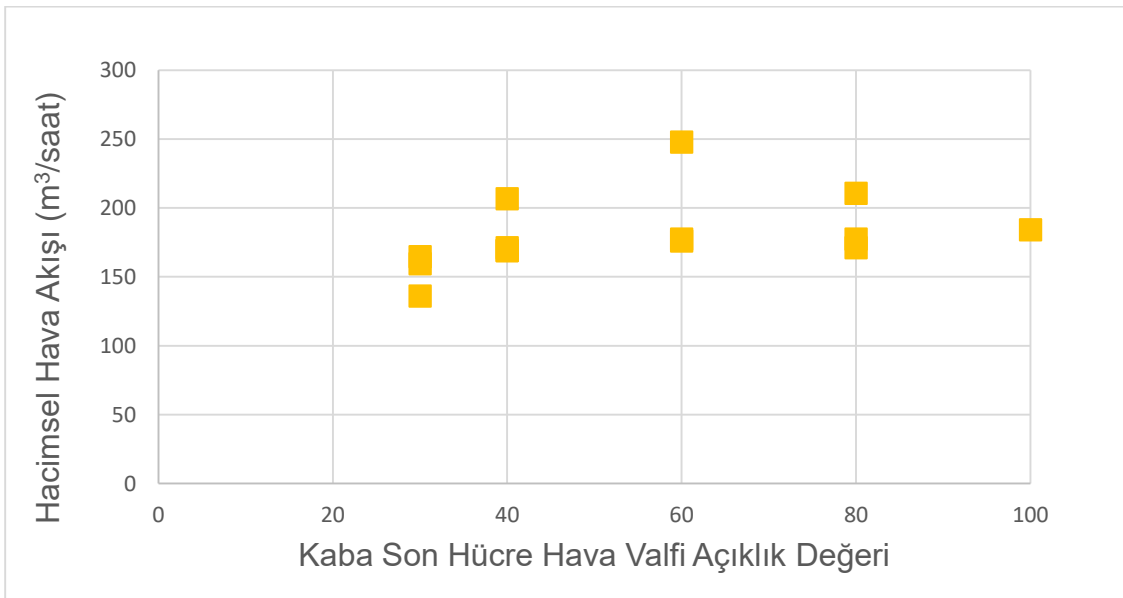
Test No	10 cm	20 cm	30 cm	10 cm	20 cm	30 cm	Ortalama J_g	Ortalama J_g	Hacimsel Hava Akışı
	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ölçüm 1 J_g	Ölçüm 2 J_g	Ölçüm 3 J_g			
	(sn)	(sn)	(sn)	(cm/sn)	(cm/sn)	(cm/sn)	(cm/sn)	(m/sa)	(m ³ /sa)
12	11	21	31	0,91	0,95	0,97	0,94	33,95	159,57
13	9	16	23	1,11	1,25	1,30	1,22	43,99	206,73
14	7	13	21	1,43	1,54	1,43	1,47	52,75	247,91
15	10	18	26	1,00	1,11	1,15	1,09	39,18	184,14
16	9	20	29	1,11	1,00	1,03	1,05	37,75	177,41
17	13	24	37	0,77	0,83	0,81	0,80	28,96	136,11
18	10	20	29	1,00	1,00	1,03	1,01	36,41	171,14
19	8	15	26	1,25	1,33	1,15	1,25	44,85	210,78
20	10	21	31	1,00	0,95	0,97	0,97	35,04	164,69
21	10	19	28	1,00	1,05	1,07	1,04	37,49	176,20
22	9	20	29	1,11	1,00	1,03	1,05	37,75	177,41
23	10	20	30	1,00	1,00	1,00	1,00	36,00	169,20
24	10	20	29	1,00	1,00	1,03	1,01	36,41	171,14
25	10	20	30	1,00	1,00	1,00	1,00	36,00	169,20

Her bir ölçüm değeri sırasıyla 10, 20 ve 30 cm’lik mesafe için geçen süreyi temsil ettiğinden, her bir değer temsil ettiği mesafeye bölünerek birim cm başına geçen süre bulunmuştur (cm/sn). Her bir test için üç ölçümün ortalaması alınarak “Ortalama J_g ” değeri elde edilmiştir. Her bir testin ortalama değeri cm/sn biriminden m/sa birimine çevrilmiştir. Kaba flotasyon devresi hücreleri için “Etkin Yüzey Alanı” (Çizelge 3.1) değeri (m²) ile ortalama yüzeysel hava hızı değeri (m/sa) çapılarak hacimsel hava akış miktarı (m³/sa) elde edilmiştir. Hesaplanan hacimsel hava akışı değerleri ile bunlara karşılık gelen vana açıklık değerleri Çizelge 3.27’de verilmiştir. Şekil 3.12’de kaba flotasyon devresinin sonuncu

hücre için valf açıklık değerleri ve hesaplanan hacimsel hava akışı değerleri arasındaki ilişki gösterilmektedir.

Çizelge 3.27 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücre valf açıklığı ve hacimsel hava akışı değerleri

Test No	Valf Açıklığı	Hacimsel Hava Akışı
	(%)	(m ³ /sa)
12	30,00	159,57
13	40,00	206,73
14	60,00	247,91
15	100,00	184,14
16	60,00	177,41
17	30,00	136,11
18	80,00	171,14
19	80,00	210,78
20	30,00	164,69
21	60,00	176,20
22	80,00	177,41
23	40,00	169,20
24	40,00	171,14
25	40,00	169,20



Şekil 3.12 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücre valf açıklık ve hacimsel hava akışı ilişkisi

3.3.3.3.Kaba Flotasyon Devresi Sonuncu Hücrede Hacimsel Hava Tutma Miktarının Hesaplanması

Kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinde gerçekleştirilen tüm testler için hücrenin hacimsel hava tutma ölçüm sonuçları Çizelge 3.28’de verilmiştir. Her bir test için iki adet ölçüm değeri bulunmaktadır. Ölçüm için kullanılan ekipmanın (Şekil 3.7) hacmi 1040 ml’dir. Her bir ölçüm sonunda haznenin içerisindeki palp mezüre alınarak hacmi ölçülmüştür. Ölçüm 1 ve 2 haznenin içerisindeki palp hacmini temsil etmektedir. Her bir ölçüm için hava hacmi değerleri haznenin hacminden (1040 ml) palp hacminin çıkarılmasıyla hazne içerisine hapsolan hava hacmini temsil etmektedir. % hacimsel hava miktarı değerleri her bir ölçümde hacimce hazne içerisinde bulunan havanın tüm haznenin hacmine %’ce oranı olarak hesaplanmıştır. Her bir test için iki ölçümün ortalaması alınarak % ortalama hacimsel hava miktarı değeri bulunmuştur.

Çizelge 3.28 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücre hacimsel hava tutma ölçümleri

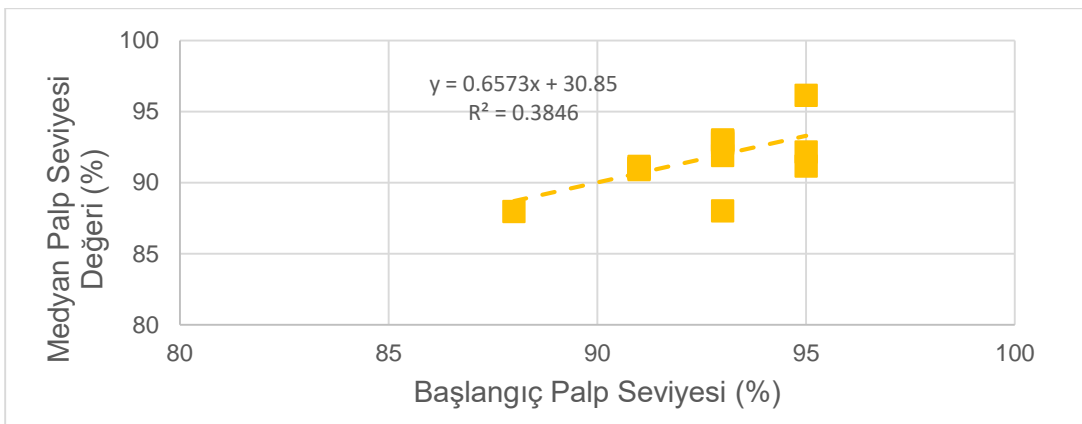
Test No	Ölçüm 1 Palp Hacmi	Ölçüm 2 Palp Hacmi	Ölçüm 1 Hava Hacmi	Ölçüm 2 Hava Hacmi	Hacimsel Hava Miktarı 1	Hacimsel Hava Miktarı 2	Ortalama Hacimsel Hava Miktarı
	(ml)	(ml)	(ml)	(ml)	(%)	(%)	(%)
12	860	865	180	175	17,31	16,83	17,07
13	850	860	190	180	18,27	17,31	17,79
14	835	860	205	180	19,71	17,31	18,51
15	860	860	180	180	17,31	17,31	17,31
16	860	880	180	160	17,31	15,38	16,35
17	855	870	185	170	17,79	16,35	17,07
18	870	875	170	165	16,35	15,87	16,11
19	835	845	205	195	19,71	18,75	19,23
20	850	870	190	170	18,27	16,35	17,31
21	865	880	175	160	16,83	15,38	16,11
22	840	870	200	170	19,23	16,35	17,79
23	860	850	180	190	17,31	18,27	17,79
24	850	850	190	190	18,27	18,27	18,27
25	840	850	200	190	19,23	18,27	18,75

3.3.3.4.Kaba Flotasyon Devresi Sonuncu Hücresinde Palp Seviyesi

Kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinde yapılan çalışma kapsamında 14 farklı test, farklı palp seviyelerinde test edilmiştir. Her bir test için palp seviyesi değerleri testlerin gerçekleştirildiği zaman aralıklarından çekilerek medyan değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 3.25). Çizelge 3.29'da her bir test için ayarlanmış olan başlangıç değerleri ve tesis verilerinden elde edilen palp seviyesi değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 3.29 Kaba flotasyon devresi birinci hücre palp seviyesi başlangıç ve tesis ölçümlerinin medyan değerleri

Test No	Başlangıç	Medyan
12	91	91,15
13	91	91,00
14	91	90,91
15	91	91,03
16	95	91,17
17	95	96,15
18	95	92,16
19	88	87,96
20	93	88,02
21	93	92,77
22	93	93,00
23	93	91,91
24	93	92,90
25	93	93,00



Şekil 3.13 Kaba flotasyon devresi birinci hücre palp seviyesi başlangıç ve tesis ölçümlerinin medyan değerleri ilişkisi

3.3.3.5.Kaba Flotasyon Devresi Sonuncu Hücrede Numune % Katı Hesaplanması

Kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresi etrafından alınan numunelerin yaş tartımları ve etüvde kurutulduktan sonraki kuru tartımları alınmıştır. Buna göre ilk hücrenin besleme, konsantre ve atık akışlarının % katı miktarları hesaplanmıştır. Kuru tartımları alınan numuneler, kodlanarak kimyasal analize gönderilmiştir. Çizelge 3.30'da her bir test için yaş ve kuru tartım değerleri verilmiştir. Çizelge 3.31'de her bir test için % katı değerleri Eşitlik 3-1 ile hesaplanmıştır.

Çizelge 3.30 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücre numunelerinin yaş ve kuru tartımları

Test No	Yaş Tartım (g)			Kuru Tartım (g)		
	Besleme	Konsantre	Atık	Besleme	Konsantre	Atık
12	3966,7	2930,0	3771,8	1441,5	208,0	1732,6
13	3617,6	4197,0	3593,0	1335,5	398,7	1400,2
14	1903,0	2310,9	1900,5	720,6	281,6	729,2
15	2003,1	3319,4	1859,0	781,4	287,7	820,9
16	2163,9	3698,2	1909,4	847,4	944,4	782,2
17	2111,1	2590,1	1885,6	811,7	704,6	811,7
18	1971,4	2821,3	1873,6	747,4	773,5	787,9
19	1897,4	2986,2	1949,3	711,0	266,7	758,2
20	2080,4	1921,9	1972,3	789,2	425,4	1005,5
21	2129,3	1758,1	2032,4	811,4	414,3	911,4
22	2091,4	1681,9	2063,3	790,8	386,1	828,7
23	2142,2	2147,9	2038,9	822,2	498,2	872,8
24	2100,0	1513,7	1956,1	833,8	406,1	914,7
25	2127,7	1672,9	1948,8	840,5	460,0	940,0

Çizelge 3.31 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücre numunelerinin % katı değerleri

Test No	% Katı		
	Besleme	Konsantre	Atık
12	36,34	7,10	45,94
13	36,92	9,50	38,97
14	37,87	12,19	38,37
15	39,01	8,67	44,16
16	39,16	25,54	40,97
17	38,45	27,20	43,05
18	37,91	27,42	42,05
19	37,47	8,93	38,90
20	37,94	22,13	50,98
21	38,11	23,57	44,84
22	37,81	22,96	40,16
23	38,38	23,19	42,81
24	39,70	26,83	46,76
25	39,50	27,50	48,23

3.3.3.6.Kaba Flotasyon Devresi Sonuncu Hücrede Konsantre ve Atık Katı Akışı Hesaplanması

Kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinde gerçekleştirilen çalışmalar kapsamında her bir testin operasyonel koşullarını temsil eden konsantre numuneleri dudak uzunluğu bilinen numune alıcı ile toplanmıştır. Konsantre numunesinin toplanması esnasında kronometre yardımıyla süre tutulmuştur (test 12 hariç). Her bir test için konsantre numunelerinin toplanma süreleri Çizelge 3.32'de verilmiştir. Toplanan her bir konsantre numunesinin katı ağırlığı (Çizelge 3.30) ve kaba flotasyon hücresinin dudak uzunluğu (Çizelge 3.1) bilindiğinden bu hücre için saatlik katı akış miktarı hesaplanabilmektedir.

Çizelge 3.32 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücre konsantre akış bilgileri

Test No	Konsantre Numunesi Alınma Süresi	Kuru Konsantre Numune Ağırlığı	Kuru Konsantre Numune Ağırlığı	Hücre Dudağı Boyunca Konsantre Akışı	Hücre Konsantre Katı Akışı
	(sn)	(gram)	(kg/sn)	(kg/sn)	(t/sa)
12	-	208	-	-	-
13	80	398,7	0,005	0,18	0,65
14	30	281,6	0,009	0,34	1,23
15	70	287,7	0,004	0,15	0,54
16	29,22	944,4	0,032	1,18	4,25
17	6,03	704,6	0,117	4,26	15,35
18	6,25	773,5	0,124	4,52	16,26
19	79,34	266,7	0,003	0,12	0,44
20	7,44	425,4	0,057	2,09	7,51
21	5,28	414,3	0,078	2,86	10,31
22	6,41	386,1	0,060	2,20	7,91
23	12,06	498,2	0,041	1,51	5,43
24	12,08	406,1	0,034	1,23	4,42
25	6,1	460	0,075	2,75	9,91

Kaba flotasyon devresinin sonuncu hücrelerinde her bir test için hacimsel atık akışları (m^3/sa) tesis verilerinden elde edilmiştir (Çizelge 3.25) Tesiste bu hücrenin atık akışındaki malzemenin özgül ağırlığı $2.80 g/cm^3$ 'tür (suyun yoğunluğu $1 g/cm^3$) olarak alınmıştır). Kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresi için besleme % katı değerleri her bir test için bilinmektedir (Çizelge 3.31) Bu bilgiler göz önünde bulundurularak kaba flotasyon devresinin son hücresinin atık katı akışı, Eşitlik 3-4 ve Eşitlik 3-5 ile bulunmuştur. Çizelge 3.33 kaba flotasyon devresinin son hücresi için her bir testin atık tonajlarını göstermektedir.

Çizelge 3.33 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücre atık akış bilgileri

Test No	Katı	Su	Palp
	(t/sa)	(t/sa)	(t/sa)
12	81,49	98,21	173,22
13	66,62	100,67	177,55
14	65,26	100,67	177,55
15	78,43	99,93	176,25
16	70,65	99,81	176,03
17	50,41	66,54	117,35
18	30,25	41,25	72,75
19	73,92	111,96	197,47
20	109,48	113,44	200,06
21	67,13	83,73	147,67
22	52,61	76,36	134,68
23	46,24	61,51	108,48
24	79,18	93,06	164,12
25	81,26	91,34	161,09

3.4. Köpük Değişkenleri

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen her bir test esnasında çevrimiçi olarak Stone Three şirketine ait köpük kamera sistemi ile ölçümler alınmıştır. Her bir testin başlangıç ve bitiş zamanları bilindiğinden testlerin gerçekleştirildiği zaman aralıklarına ait köpük değişken verileri elde edilmiştir. Böylece, her bir test için kabarcık hızı, kabarcık boyu, köpük yüksekliği ve köpük rengi parametrelerinin ortalama, medyan ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 3.34 Flaş hücre köpük değişken bilgileri

Test No	Ortalama			Medyan			Standart Sapma		
	Köpük Yüksekliği (mm)	Kabarcık Hızı (mm/sn)	Kabarcık Boyu (mm)	Köpük Yüksekliği (mm)	Kabarcık Hızı (mm/sn)	Kabarcık Boyu (mm)	Köpük Yüksekliği (mm)	Kabarcık Hızı (mm/sn)	Kabarcık Boyu (mm)
1	12,51	47,90	60,74	12,98	48,63	59,38	7,57	19,88	21,81
2	12,12	99,87	60,74	11,29	99,05	60,13	9,46	13,50	7,24
3	12,10	50,00	57,04	12,33	46,57	55,29	7,03	16,73	7,94
4	15,14	23,13	54,57	15,91	21,51	53,35	6,86	8,38	6,33
5	9,58	81,76	51,22	9,58	80,98	50,35	6,63	23,52	6,40
6	13,06	33,98	53,12	12,62	33,54	51,95	7,68	6,15	6,39
7	11,84	54,40	55,29	11,77	53,97	54,46	8,81	9,03	7,16
8	8,81	60,25	58,75	8,37	60,79	57,84	7,74	12,77	7,60
9	10,01	169,37	47,31	10,58	169,40	46,14	6,31	12,98	5,94
10	10,48	156,57	49,97	10,61	159,49	46,97	6,88	23,31	10,41
11	12,42	91,13	49,22	13,05	99,83	48,00	6,46	37,97	6,55
12	15,33	26,98	57,93	15,08	23,64	56,14	7,51	16,22	9,35
13	14,51	146,36	49,00	15,03	147,60	48,45	8,63	23,98	5,67
14	15,98	109,18	56,05	15,63	116,43	54,17	7,24	30,28	8,92
15	11,55	68,58	50,23	12,01	66,57	49,21	8,21	19,29	6,19
16	13,44	77,17	49,92	13,24	75,12	49,46	9,29	18,66	6,09

Çizelge 3.35 Kaba flotasyon devresi birinci hücre köpük değişken bilgileri

Test No	Ortalama			Medyan			Standart Sapma		
	Köpük Yüksekliği (mm)	Kabarcık Hızı (mm/sn)	Kabarcık Boyu (mm)	Köpük Yüksekliği (mm)	Kabarcık Hızı (mm/sn)	Kabarcık Boyu (mm)	Köpük Yüksekliği (mm)	Kabarcık Hızı (mm/sn)	Kabarcık Boyu (mm)
1	-2,85	83,86	163,70	-3,14	83,03	138,61	4,41	13,26	101,09
2	-1,89	49,99	165,97	-1,88	49,26	119,88	4,14	14,94	112,70
3	18,12	10,52	42,93	18,68	10,11	42,32	9,65	2,72	3,56
4	2,54	77,72	60,84	2,66	76,53	43,36	4,29	10,80	49,68
5	0,34	61,55	79,93	0,03	61,14	59,13	4,31	9,28	63,58
6	-1,53	63,42	91,94	-1,34	64,38	68,33	3,24	9,90	60,41
7	1,64	85,68	89,46	1,38	84,75	63,57	4,32	10,48	65,29
8	-0,64	76,57	81,02	-0,62	76,66	70,67	3,07	9,50	48,48
9	-1,15	84,42	89,18	-0,96	83,89	64,13	3,40	10,21	65,51
10	-3,83	61,33	128,31	-3,97	59,48	79,03	3,83	12,62	103,70

Çizelge 3.36 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücre köpük değişken bilgileri

Test No	Ortalama			Medyan			Standart Sapma		
	Köpük Yüksekliği (mm)	Kabarcık Hızı (mm/sn)	Kabarcık Boyu (mm)	Köpük Yüksekliği (mm)	Kabarcık Hızı (mm/sn)	Kabarcık Boyu (mm)	Köpük Yüksekliği (mm)	Kabarcık Hızı (mm/sn)	Kabarcık Boyu (mm)
12	33,10	35,66	57,29	33,26	34,91	56,65	3,87	7,03	4,29
13	37,85	42,67	59,02	38,36	42,89	58,87	4,50	6,73	4,42
14	38,35	44,20	65,26	37,43	43,72	64,26	6,24	7,51	9,53
15	36,24	39,71	62,68	36,57	39,31	61,67	5,01	6,94	5,25
16	34,95	67,86	67,00	34,57	67,69	64,73	4,41	6,69	5,87
17	31,66	67,28	74,67	32,33	66,75	71,12	5,15	9,77	8,19
18	32,92	93,22	66,04	32,73	93,55	65,17	4,29	7,92	4,05
19	40,46	36,39	74,40	40,40	36,08	70,25	4,56	6,42	22,54
20	35,74	57,40	66,33	35,72	57,60	66,06	3,77	7,72	7,83
21	35,06	63,36	63,88	35,21	62,88	63,40	3,93	7,31	5,03
22	35,37	63,03	64,88	35,15	62,97	64,35	3,80	6,52	5,03
23	31,33	58,20	69,25	31,39	57,78	68,69	4,75	6,32	5,04
24	34,43	62,02	75,05	34,31	61,78	66,94	3,76	7,03	36,78
25	32,89	63,52	70,32	32,38	63,58	65,57	3,80	7,02	12,79

Çizelge 3.37 Flaş hücre köpük renk bilgileri

Test	RGB Red	RGB Green	RGB Blue	HSV H	HSV S	HSV V	LAB L	LAB A	LAB B
1	0,5198	0,4776	0,4252	0,2084	0,2262	0,5283	0,5122	0,5083	0,5350
2	0,5200	0,4783	0,4267	0,2065	0,2231	0,5284	0,5130	0,5079	0,5349
3	0,5249	0,4857	0,4322	0,2067	0,2142	0,5316	0,5195	0,5063	0,5355
4	0,5229	0,4938	0,4413	0,2186	0,1858	0,5280	0,5253	0,5021	0,5331
5	0,5127	0,4820	0,4272	0,2154	0,1978	0,5185	0,5135	0,5028	0,5346
6	0,5221	0,4947	0,4388	0,2197	0,1877	0,5272	0,5255	0,5009	0,5346
7	0,5239	0,4971	0,4408	0,2189	0,1893	0,5292	0,5277	0,5006	0,5352
8	0,5279	0,5027	0,4441	0,2171	0,1891	0,5335	0,5329	0,4996	0,5357
9	0,5161	0,4947	0,4426	0,2226	0,1730	0,5226	0,5241	0,4992	0,5319
10	0,5118	0,4912	0,4411	0,2247	0,1688	0,5183	0,5205	0,4991	0,5310
11	0,5099	0,4908	0,4393	0,2231	0,1697	0,5165	0,5199	0,4984	0,5312
12	0,5231	0,5034	0,4573	0,2243	0,1579	0,5299	0,5331	0,4997	0,5280
13	0,5104	0,4913	0,4489	0,2306	0,1495	0,5173	0,5211	0,5003	0,5261
14	0,5065	0,4866	0,4434	0,2261	0,1546	0,5130	0,5162	0,5001	0,5269
15	0,5122	0,4914	0,4483	0,2226	0,1559	0,5186	0,5212	0,5003	0,5273
16	0,5105	0,4869	0,4384	0,2241	0,1714	0,5168	0,5173	0,5009	0,5302

Çizelge 3.38 Kaba flotasyon devresi birinci hücre köpük renk bilgileri

Test No	RGB Red	RGB Green	RGB Blue	HSV H	HSV S	HSV V	LAB L	LAB A	LAB B
1	0,4857	0,4741	0,4424	0,2351	0,1058	0,4905	0,5026	0,4988	0,5186
2	0,4887	0,4743	0,4424	0,2341	0,1106	0,4928	0,5034	0,5000	0,5191
3	0,4860	0,4716	0,4456	0,2730	0,1004	0,4902	0,5003	0,5009	0,5160
4	0,4775	0,4598	0,4339	0,2910	0,1102	0,4817	0,4903	0,5029	0,5158
5	0,4816	0,4662	0,4372	0,2504	0,1125	0,4862	0,4957	0,5011	0,5178
6	0,4783	0,4653	0,4319	0,2217	0,1191	0,4834	0,4936	0,4988	0,5202
7	0,4640	0,4438	0,4133	0,2089	0,1319	0,4684	0,4740	0,5029	0,5195
8	0,4665	0,4474	0,4172	0,2306	0,1271	0,4708	0,4773	0,5024	0,5189
9	0,4773	0,4587	0,4272	0,2303	0,1242	0,4810	0,4882	0,5018	0,5199
10	0,4784	0,4618	0,4279	0,2239	0,1243	0,4824	0,4904	0,5007	0,5207

Çizelge 3.39 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücre köpük renk bilgileri

Test No	RGB Red	RGB Green	RGB Blue	HSV H	HSV S	HSV V	LAB L	LAB A	LAB B
12	0,469	0,4446	0,4126	0,2087	0,1423	0,4736	0,476	0,5042	0,5209
13	0,4383	0,4005	0,3794	0,2016	0,1615	0,4442	0,4368	0,5117	0,5174
14	0,4644	0,4372	0,4072	0,2104	0,1484	0,4697	0,4697	0,5052	0,5209
15	0,4606	0,4347	0,4046	0,2045	0,1479	0,4656	0,4669	0,5053	0,52
16	0,4515	0,4155	0,3864	0,1926	0,1682	0,4578	0,4511	0,5093	0,5215
17	0,4662	0,4369	0,4014	0,1977	0,1655	0,4717	0,4699	0,5061	0,5233
18	0,4705	0,4383	0,403	0,2017	0,168	0,4754	0,4726	0,5066	0,5239
19	0,4557	0,4265	0,4007	0,2101	0,1458	0,4607	0,4599	0,5071	0,5186
20	0,451	0,418	0,3915	0,2017	0,1602	0,4569	0,4525	0,5082	0,5199
21	0,4497	0,4128	0,3869	0,1989	0,1702	0,4557	0,4484	0,51	0,5202
22	0,4504	0,4153	0,3885	0,2028	0,1655	0,4561	0,4505	0,5095	0,5198
23	0,4799	0,4498	0,4167	0,206	0,1538	0,4845	0,4837	0,5062	0,5221
24	0,4592	0,426	0,3968	0,1938	0,1644	0,4649	0,4604	0,5081	0,521
25	0,4675	0,435	0,404	0,1955	0,1633	0,4731	0,4695	0,5075	0,5217

3.5. Madde Denkliği

Çalışma kapsamında incelenen üç farklı hücreden alınan numunelerin kimyasal analiz sonuçları ve her hücre için hesaplanan tesis akışları kullanılarak her bir test için madde denkliği hesapları gerçekleştirilmiştir. Her bir test için kimyasal analiz sonuçları ekler kısmında verilmiştir. Kütle denkliğinin yapılmasında JK SimFloat programı kullanılmıştır. Her bir test için kullanılan deneysel veriler ve kütle denklik sonuçları ekler kısmında verilmiştir. Üç farklı hücre için % katı kazanımı, altın verimi, sülfür verimi, NSG verimi ve altın tenörü, sülfür Tenörü ve NSG tenörleri aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 3.40 Flaş hücre flotasyon performans verileri

Test No	Katı Kazanımı	Au Verimi	Au Tenörü	S Verimi	S Tenörü	NSG Verimi	NSG Tenörü
	(%)	(%)	(ppm)	(%)	(%)	(%)	(%)
1	1,05	14,00	168,54	23,04	41,13	0,14	11,96
2	0,69	8,37	165,88	13,71	40,12	0,10	13,36
3	0,71	9,01	171,44	13,64	39,69	0,10	13,19
4	0,56	7,66	167,75	13,40	43,23	0,05	7,73
5	0,87	12,47	173,83	19,88	39,99	0,12	12,86
6	0,63	8,64	156,61	14,91	40,57	0,09	13,12
7	1,19	16,62	156,46	23,33	36,95	0,22	16,96
8	0,50	5,77	131,21	10,36	38,59	0,09	16,87
9	1,03	7,17	89,46	14,53	25,97	0,48	42,67
10	1,25	8,78	86,20	15,22	18,79	0,76	56,00
11	0,87	7,75	118,42	14,83	26,94	0,37	39,29
12	0,56	8,58	136,99	10,54	41,51	0,08	12,99
13	3,99	20,02	42,62	24,02	11,27	3,20	73,51
14	0,96	17,97	126,51	21,84	40,19	0,17	16,25
15	0,90	13,91	122,01	18,01	41,00	0,15	15,59
16	0,94	14,19	130,48	18,75	39,46	0,17	16,31

Çizelge 3.41 Kaba flotasyon devresi birinci hücre performans verileri

Test No	Katı Kazanımı	Au Verimi	Au Tenörü	S Verimi	S Tenörü	NSG Verimi	NSG Tenörü
	(%)	(%)	(ppm)	(%)	(%)	(%)	(%)
1	15,53	20,11	2,99	20,63	2,15	15,29	90,63
2	12,45	18,10	3,20	18,85	2,43	12,17	89,99
3	7,46	19,81	6,25	23,85	5,52	6,75	82,98
4	21,44	27,35	2,41	29,61	1,78	21,12	91,48
5	13,85	21,70	2,95	22,99	2,36	13,47	89,99
6	15,50	20,26	2,24	22,56	1,84	15,25	91,37
7	22,99	29,92	2,26	34,22	1,76	22,65	91,65
8	18,22	24,76	2,30	28,43	1,97	17,89	91,11
9	14,03	19,58	2,40	20,35	1,90	13,83	91,31
10	9,68	15,50	3,42	17,93	2,91	9,33	88,69

Çizelge 3.42 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücre performans verileri

Test No	Katı Kazanımı	Au Verimi	Au Tenörü	S Verimi	S Tenörü	NSG Verimi	NSG Tenörü
	(%)	(%)	(ppm)	(%)	(%)	(%)	(%)
13	0,96	13,68	6,61	28,18	2,80	0,87	87,66
14	1,82	15,69	4,08	31,19	1,80	1,72	90,72
15	0,68	10,47	8,48	22,06	3,81	0,60	84,84
16	5,68	11,98	1,02	16,63	0,24	5,61	95,76
17	23,34	42,68	0,89	59,82	0,26	23,15	95,79
18	34,91	48,30	0,78	59,32	0,26	34,71	95,70
19	0,59	11,22	15,20	36,64	10,32	0,43	69,69
20	6,42	19,77	1,85	32,95	0,79	6,26	94,08
21	13,29	29,19	1,40	46,07	0,55	13,07	94,58
22	13,05	30,92	1,32	47,39	0,55	12,82	94,60
23	10,52	26,10	1,27	46,92	0,47	10,35	94,96
24	5,29	9,83	1,05	19,41	0,39	5,16	95,23
25	10,86	16,70	1,21	35,13	0,47	10,73	95,09

4. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

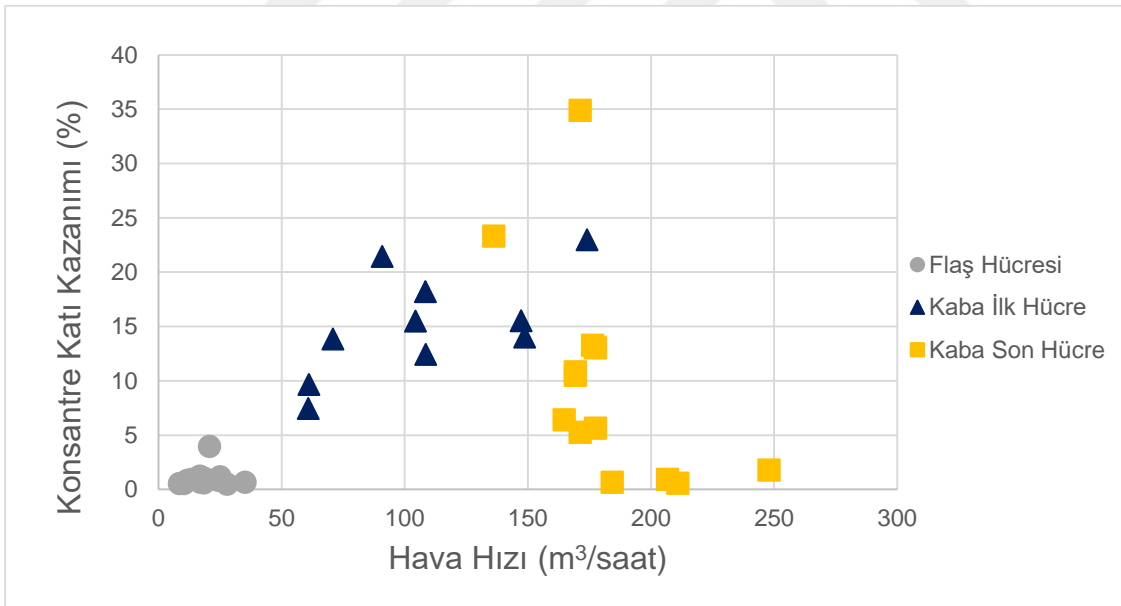
4.1.Hava Hızı, Köpük Seviyesi ve Köpürtücü Dozajının Metalurjik Performansa Etkileri

4.1.1.Hava Hızının Metalurjik Performansa Etkisi

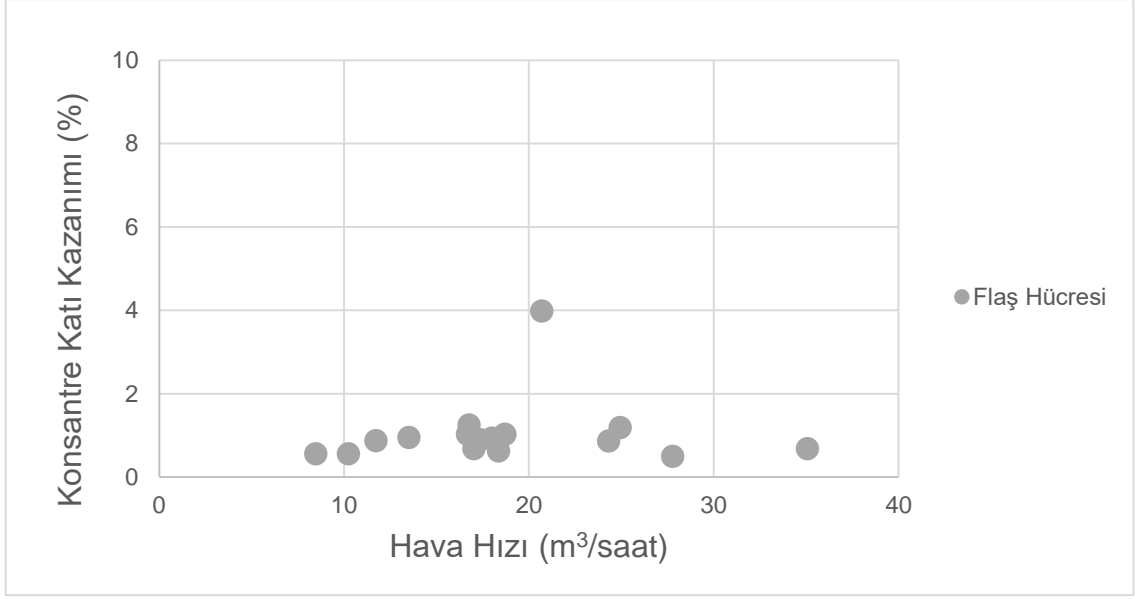
Gerçekleştirilen çalışmada hava hızının metalurjik performansa olan etkisi üç farklı flotasyon hücresi için incelenmiştir. Katı ve metal verimleri her hücrenin kendi beslemesine göre verilmiştir.

4.1.1.1.Hava Hızının Katı Kazanımına Etkisi

Gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda hava hızının (m^3/sa) konsantre katı kazanımı (%) üzerindeki etkisi Şekil 4.1'de tüm hücreler için gösterilmiştir. Flaş hücresindeki katı kazanımının, diğer hücrelere göre çok daha düşük olduğu görülmektedir. Flaş hücresi için hava hızı ve konsantre katı kazanımı ilişkisi Şekil 4.2'de verilmiştir. En düşük konsantre katı kazanımı değerleri flaş hücresinden elde edilirken, en yüksek değerler sonuncu kaba hücreden elde edilmiştir.



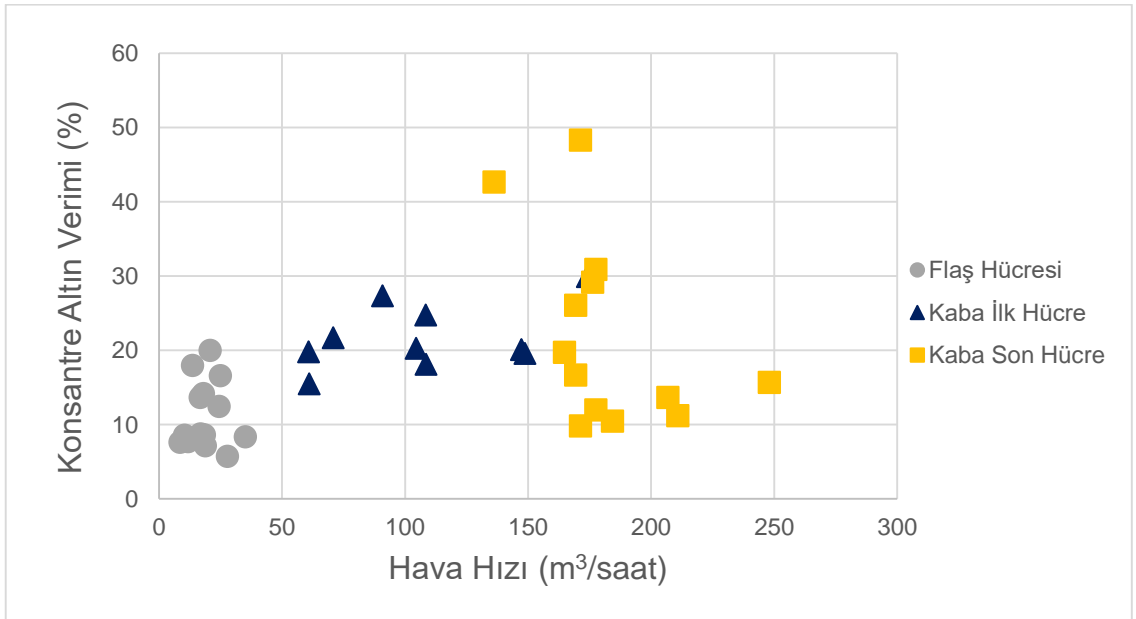
Şekil 4.1 Hava hızı ve konsantre katı kazanımı ilişkisi



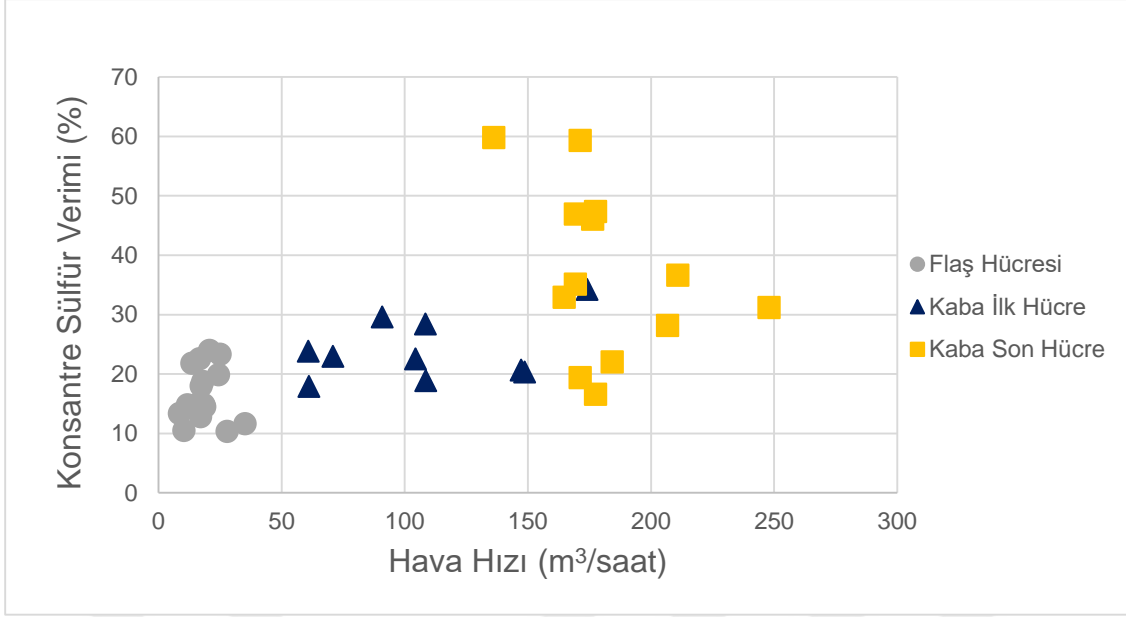
Şekil 4.2 Flaş hücre hava hızı ve konsantre katı kazanımı ilişkisi

4.1.1.2.Hava Hızının Altın ve Sülfür Verimine Etkisi

Hava hızının altın ve sülfür verimine etkisi Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te verilmiştir. Flaş hücresinin altın ve sülfür veriminin en düşük olduğu görülmektedir. Kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinin altın ve sülfür veriminin geniş bir aralıkta olduğu görülmektedir.



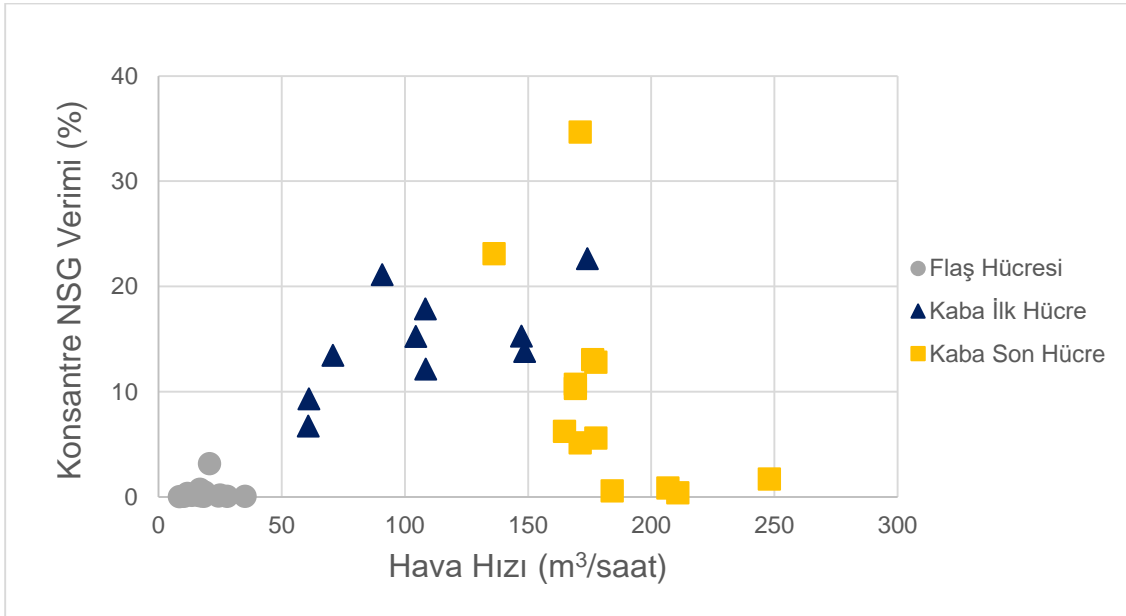
Şekil 4.3 Hava hızı ve konsantre altın verimi ilişkisi



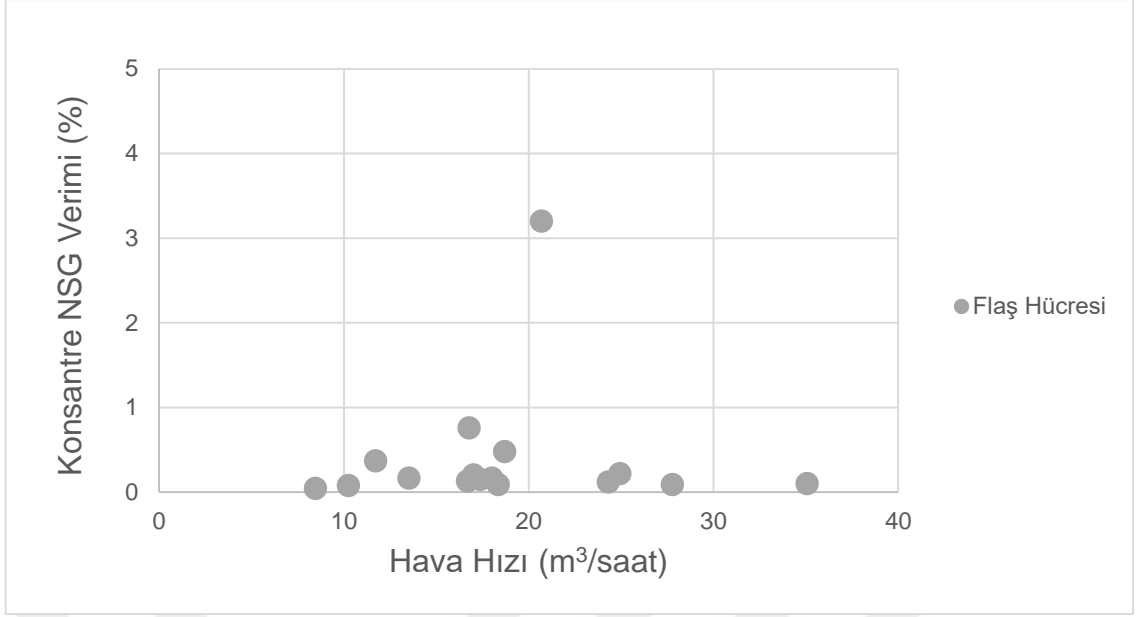
Şekil 4.4 Hava hızı ve konsantre sülfür verimi ilişkisi

4.1.1.3. Hava Hızının Gang Mineral Verimine Etkisi

Hava hızının gang mineral verimine etkisi tüm hücreler için Şekil 4.5'te ve flaş hücresi için Şekil 4.6'da verilmiştir. Flaş hücresinin gang mineral veriminin en düşük olduğu görülmektedir. Kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinin gang mineral veriminin geniş bir aralıkta olduğu görülmektedir.



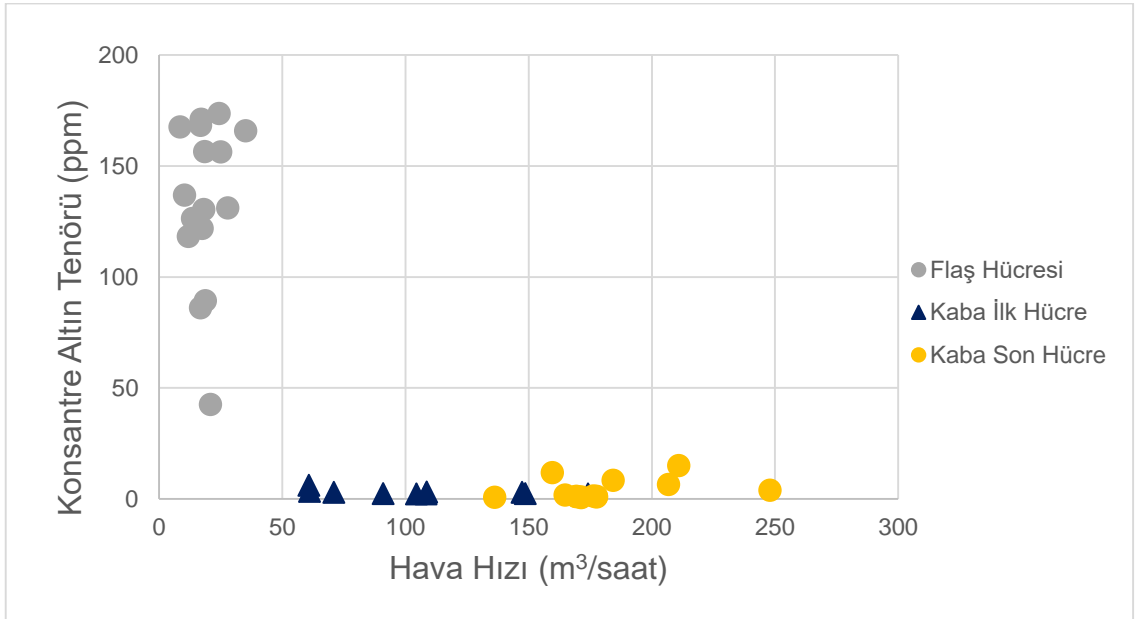
Şekil 4.5 Hava hızı ve konsantre gang mineral verimi ilişkisi



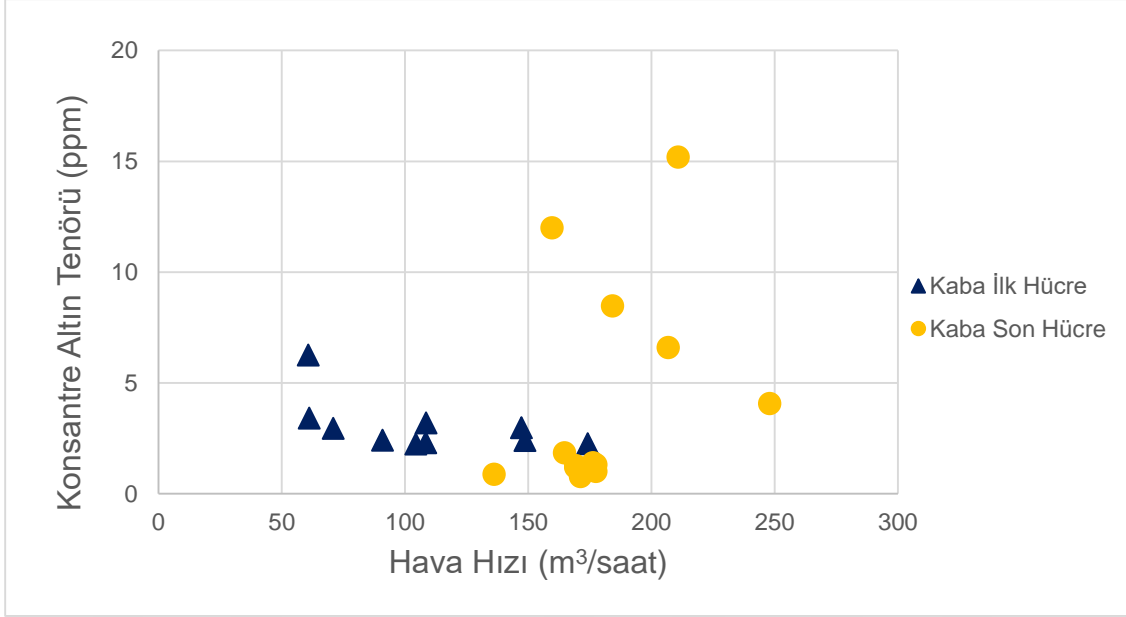
Şekil 4.6 Flaş hücrede hava hızı ve konsantre gang mineral verimi ilişkisi

4.1.1.4.Hava Hızının Konsantre Altın ve Sülfür Tenörüne Etkisi

Hava hızının konsantre Altın tenörüne etkisi tüm hücreler için Şekil 4.7’de ve Şekil 4.8’de ise kaba flotasyon devresinin hücreleri için verilmiştir. Flaş hücrelerinden elde edilen konsantrelerin altın tenörlerinin kaba flotasyon devresine göre çok daha yüksek olduğu görülmektedir.

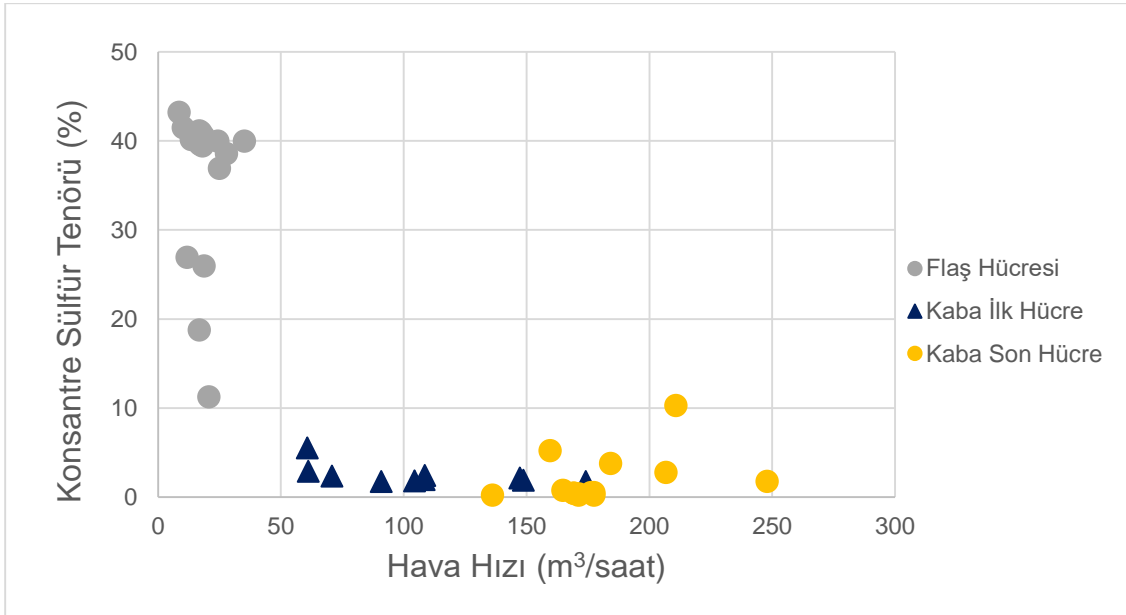


Şekil 4.7 Hava hızı ve konsantre altın tenörü ilişkisi

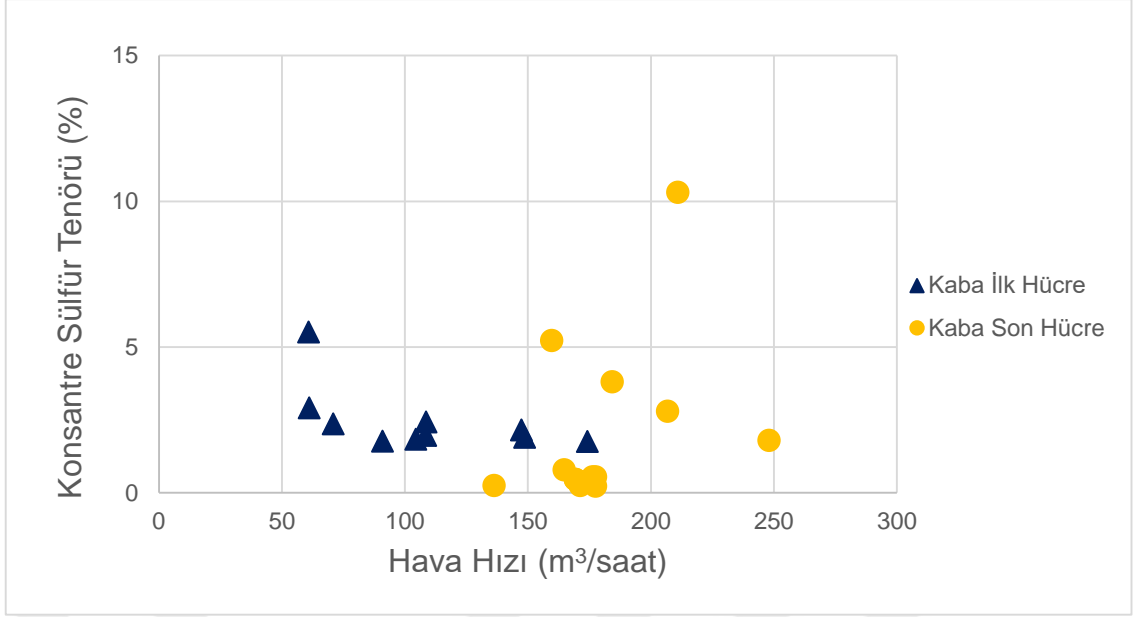


Şekil 4.8 Kaba flotasyon devresi hava hızı ve konsantre altın tenörü ilişkisi

Hava hızının konsantre sülfür tenörüne etkisi tüm hücreler için Şekil 4.9'da ve Şekil 4.10'da ise kaba flotasyon devresinin hücreleri için verilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmada değişen hava hızı ile altın ve sülfür tenörlerindeki değişimin benzer olduğu görülmektedir. En yüksek sülfür tenörü değerleri Flaş hücrelerinde elde edilmiştir.



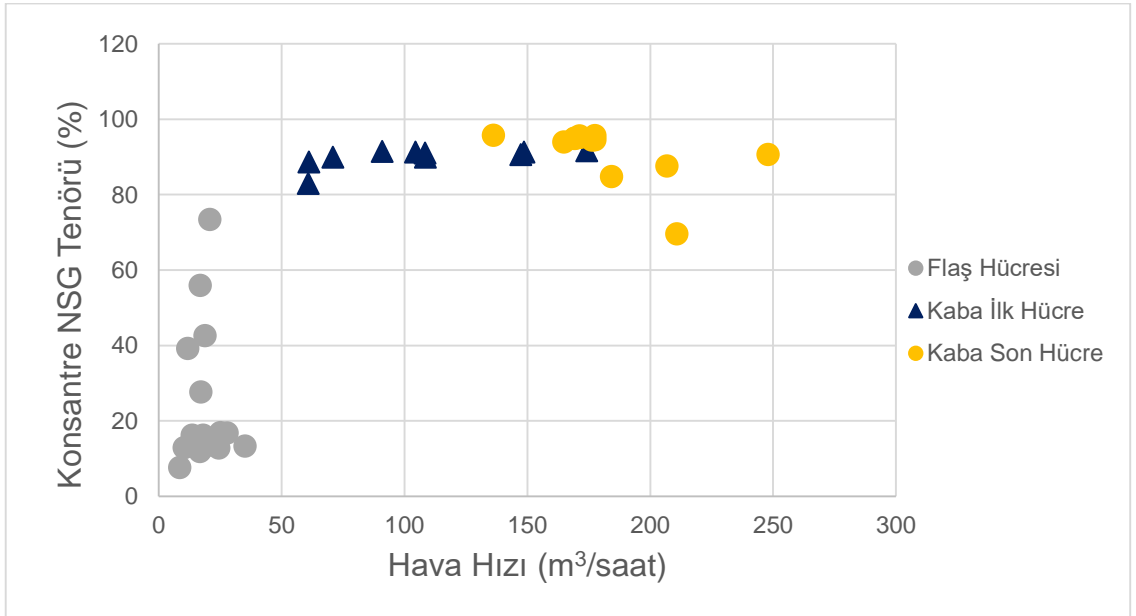
Şekil 4.9 Hava hızı ve konsantre sülfür tenörü ilişkisi



Şekil 4.10 8 Kaba flotasyon devresi hava hızı ve konsantre sülfür tenörü ilişkisi

4.1.1.5. Hava Hızının Gang Mineral Tenörüne Etkisi

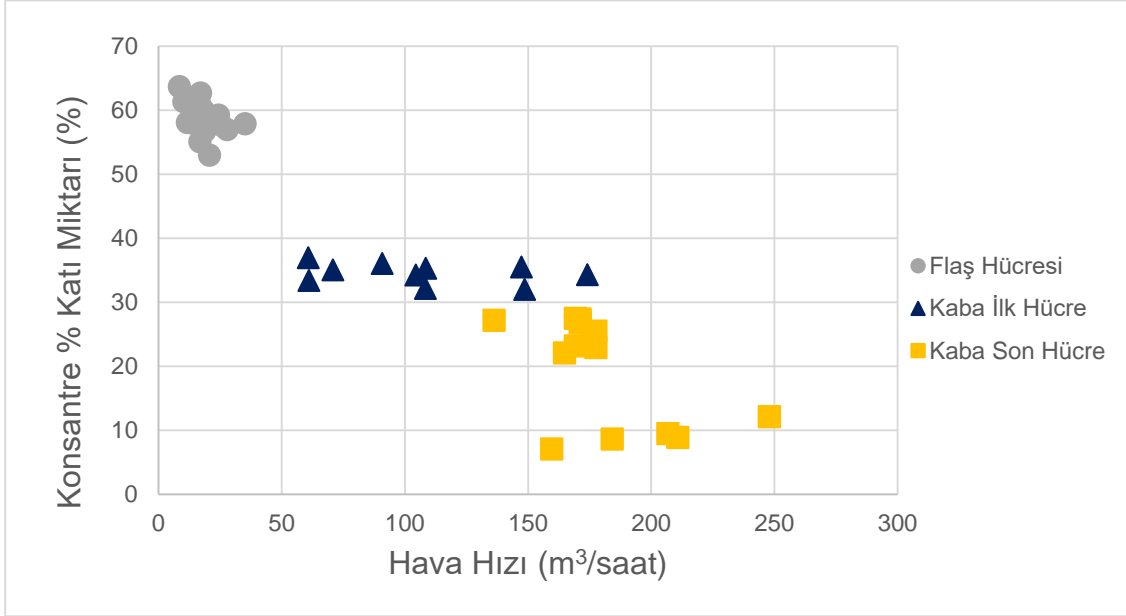
Hava hızının gang mineral tenörüne etkisi Şekil 4.11'de tüm hücreler için verilmiştir. En düşük gang mineral verimleri Flaş hücrelerinde elde edilmiştir. Kaba flotasyon devresinin ilk ve son hücrelerinde benzer gang mineral verimleri elde edilmiştir.



Şekil 4.11 Hava hızı ve konsantre gang mineral tenörü ilişkisi

4.1.1.6.Hava Hızının Konsantre % Katı Miktarına Etkisi

Hava hızının konsantre % katı miktarına etkisi Şekil 4.12'de tüm hücreler için verilmiştir. Flaş hücrelerinde en yüksek ve kaba flotasyon devresinin sonuncu hücrelerinde ise en düşük % katı değerleri elde edilmiştir. Kaba flotasyon devresinin birinci hücrelerinin Flaş ve sonuncu hücre arasında değerler aldığı görülmektedir.



Şekil 4.12 Hava hızı ve konsantre % katı miktarı ilişkisi

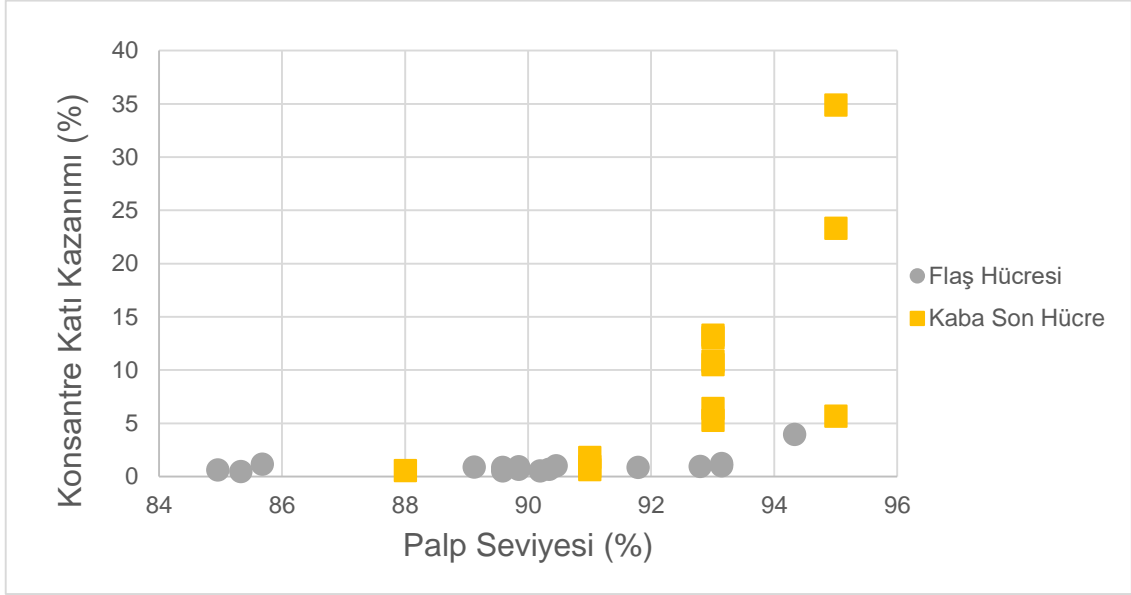
4.1.2.Palp Seviyesinin Metalurjik Performansa Etkisi

Gerçekleştirilen çalışmada palp seviyesinin metalurjik performansa olan etkisi sadece flaş hücrelerinde ve kaba flotasyon devresinin sonuncu hücrelerinde incelenmiştir. Kaba flotasyon devresinin birinci hücrelerinde palp seviyesinin değiştirilememesinden dolayı bu hücre bu bölümden hariç tutulmuştur. Katı ve metal verimleri her hücrenin kendi beslemesine göre verilmiştir.

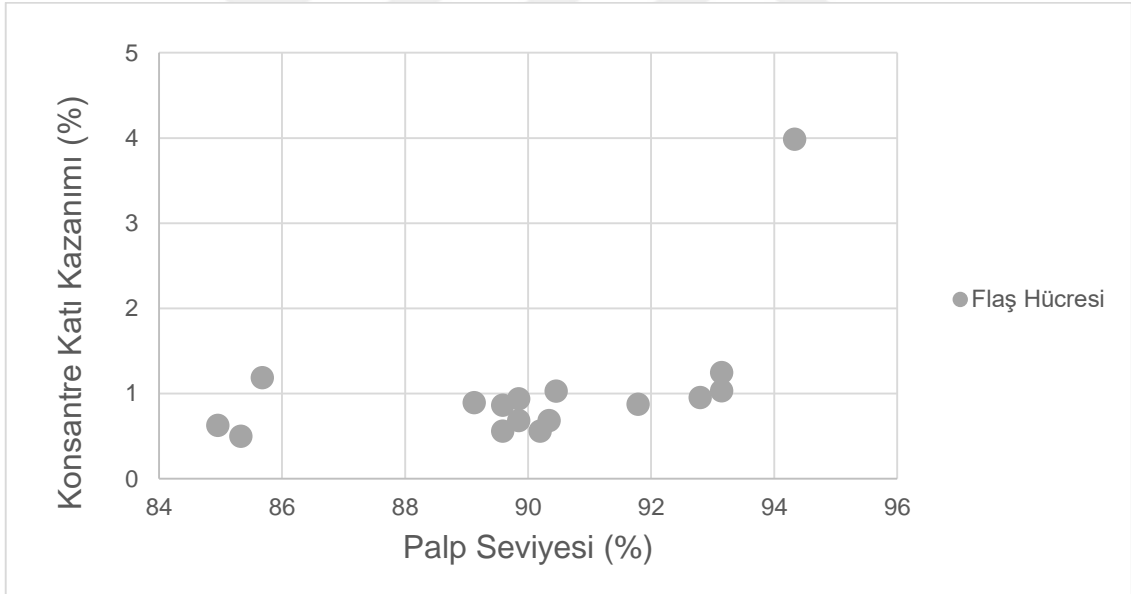
4.1.2.1.Palp Seviyesinin Katı Kazanımına Etkisi

Palp seviyesinin konsantre katı kazanımına etkisi Şekil 4.13'te ve Şekil 4.1'te verilmiştir. Her iki hücrede de palp seviyesi ve konsantre katı kazanımı arasında net bir ilişki görülmemektedir. Ancak, artan palp seviyesi ile ortalama konsantre katı kazanımı değerinin arttığı kaba flotasyon devresinin sonuncu hücreleri için

görülmektedir. Flaş hücrelerinde elde edilen konsantre katı kazanımı değerlerinin sonuncu hücreye göre çok daha düşük ve dar bir aralıkta olduğu görülmektedir.



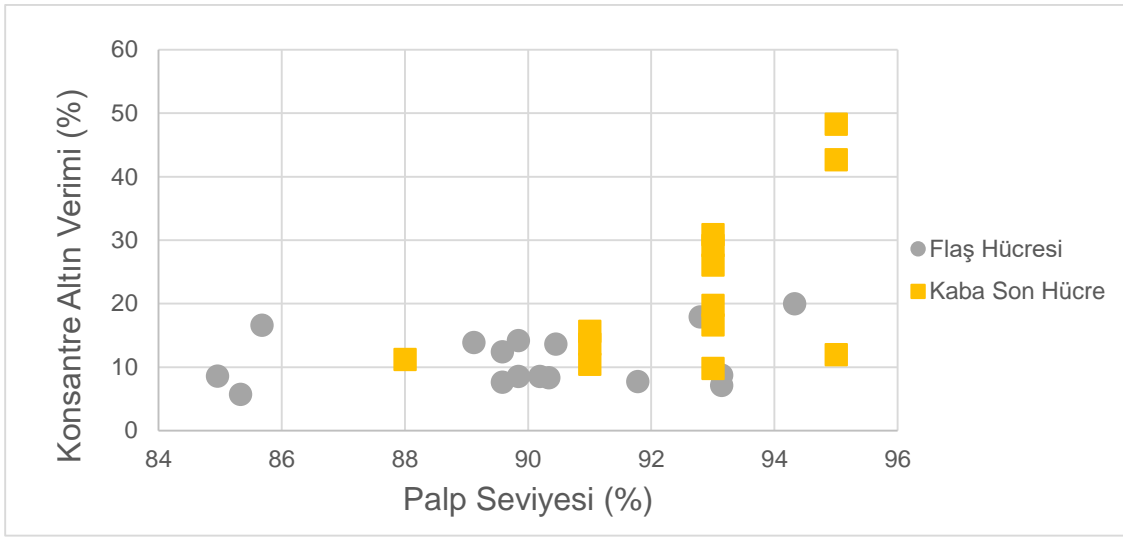
Şekil 4.13 Palp seviyesi ve konsantre konsantre katı kazanımı ilişkisi



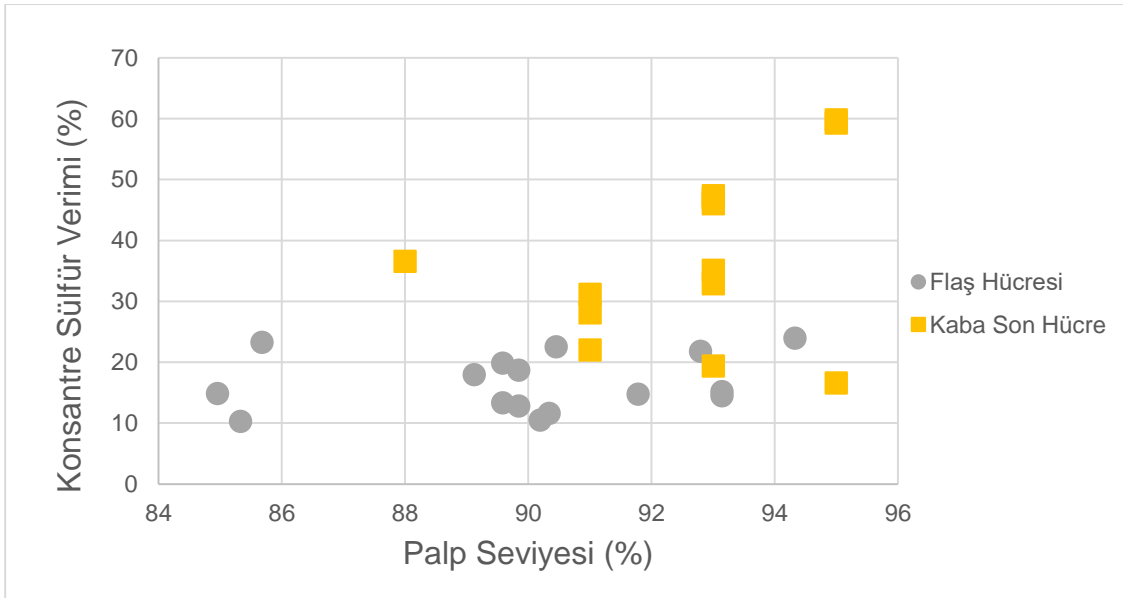
Şekil 4.14 Flaş hücrede palp seviyesi ve konsantre konsantre katı kazanımı ilişkisi

4.1.2.2.Palp Seviyesinin Altın ve Sülfür Verimine Etkisi

Palp seviyesinin altın ve sülfür verimine etkisi Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da verilmiştir. Flaş hücrelerinde değişen palp seviyesi ile Altın ve Sülfür verimlerinde belirgin bir değişim görülmektedir. Kaba flotasyon devresinin sonuncu hücrelerinde palp seviyesi ile altın ve sülfür verimleri arasında bariz bir ilişki görülmesi de ortalama altın veriminin palp seviyesi ile arttığı yorumlanmaktadır. Flaş hücrelerinde artan palp seviyesine karşı elde edilen altın ve sülfür verimlerinin kaba flotasyon devresinin sonuncu hücrelerine göre çok daha geniş bir aralıkta bulunduğu görülmektedir.



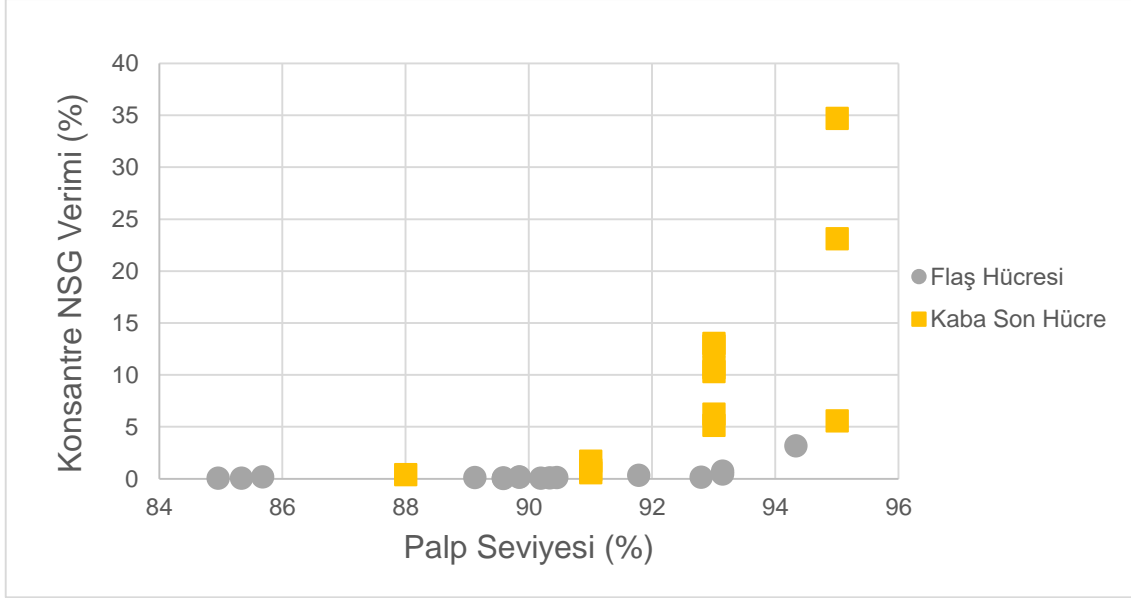
Şekil 4.15 Palp seviyesi ve konsantre altın verimi ilişkisi



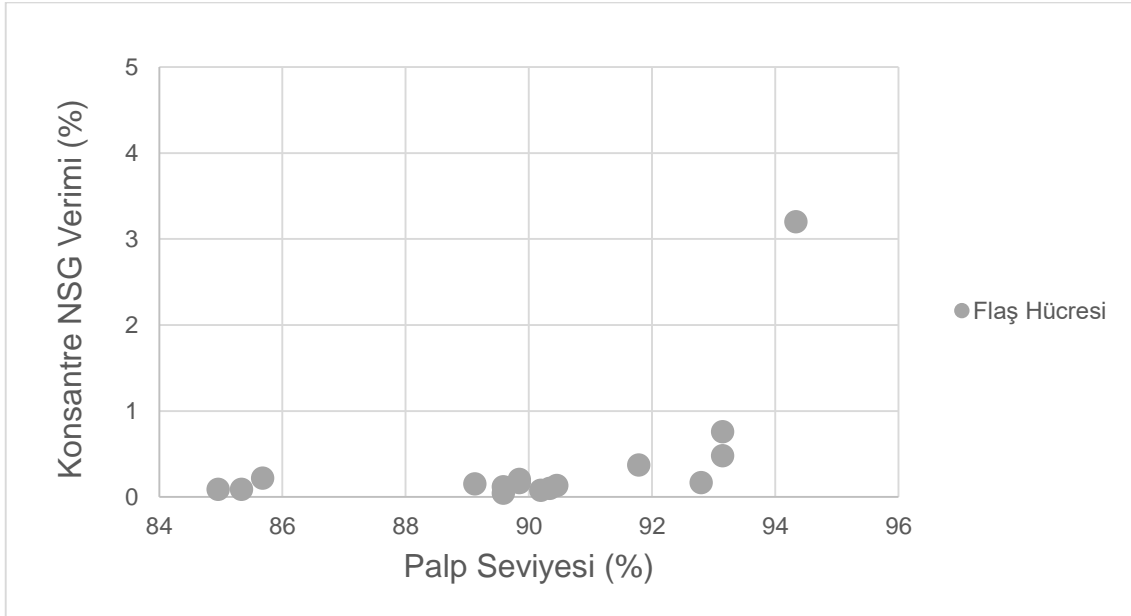
Şekil 4.16 Palp seviyesi ve konsantre sülfür verimi ilişkisi

4.1.2.3. Palp Seviyesinin Gang Mineral Verimine Etkisi

Palp seviyesinin gang mineral verimine etkisi Şekil 4.17’de ve Şekil 4.18’de verilmiştir. Her iki hücrede de palp seviyesi ve gang mineral verimi arasında net bir ilişki görülmemektedir. Ancak, artan palp seviyesi ile ortalama gang mineral verimi değerinin her iki hücre için de arttığı görülmektedir.



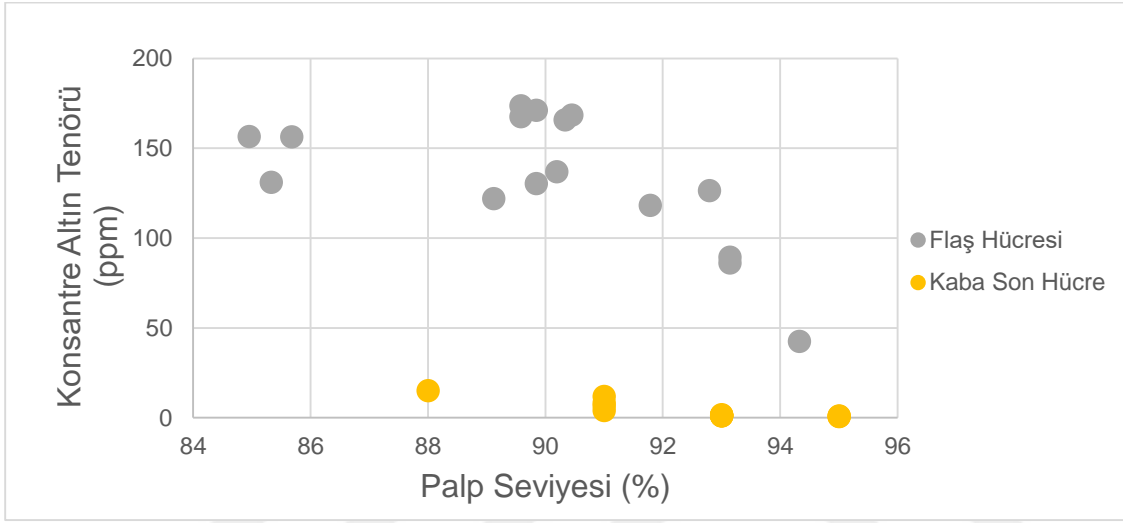
Şekil 4.17 Palp seviyesi ve konsantre gang mineral verimi ilişkisi



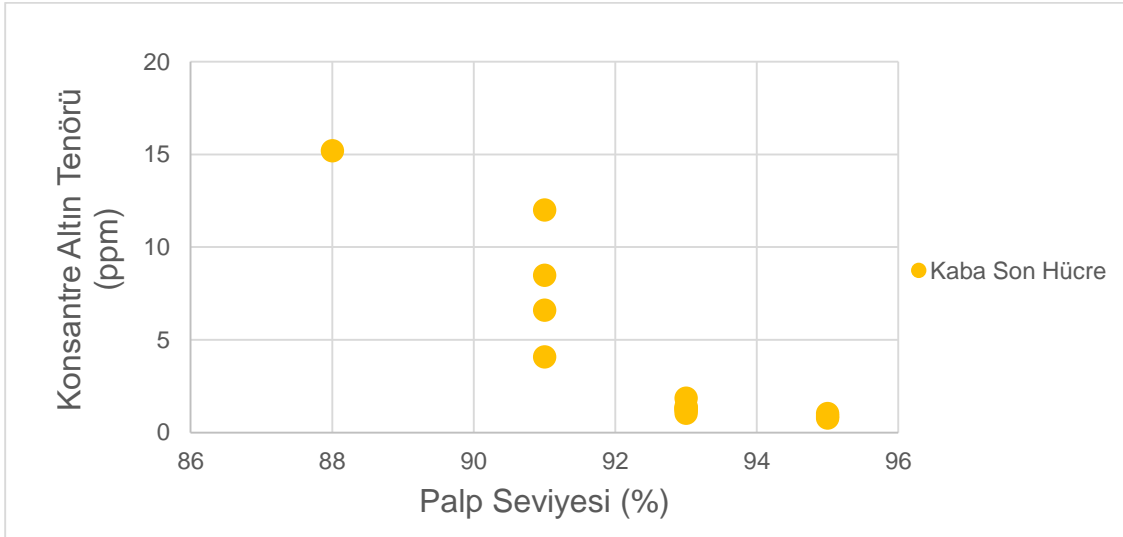
Şekil 4.18 Flaş hücrede palp seviyesi ve konsantre gang mineral verimi ilişkisi

4.1.2.4. Palp Seviyesinin Altın ve Sülfür Tenörüne Etkisi

Palp seviyesinin konsantre Altın tenörüne etkisi Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'de ise kaba flotasyon devresinin hücreleri için verilmiştir. Her iki hücrede de artan palp seviyesi ile konsantrenin Altın tenörü değerlerinde düşüş olduğu görülmektedir. Flaş hücreinde derin ve orta seviye köpük yüksekliği değerlerinde (düşük palp seviyesi ve orta palp seviyesi) elde edilen konsantre Altın tenöründeki değişim aralığının benzer olduğu görülmektedir.

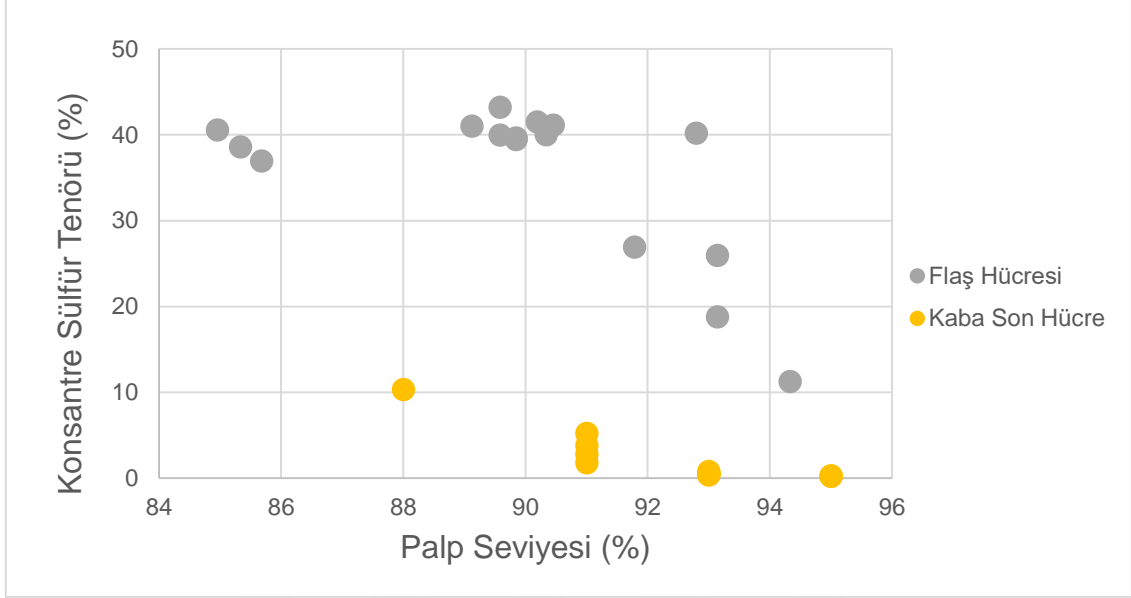


Şekil 4.19 Palp seviyesi ve konsantre altın tenörü ilişkisi



Şekil 4.20 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücrede palp seviyesi ve konsantre altın tenörü ilişkisi

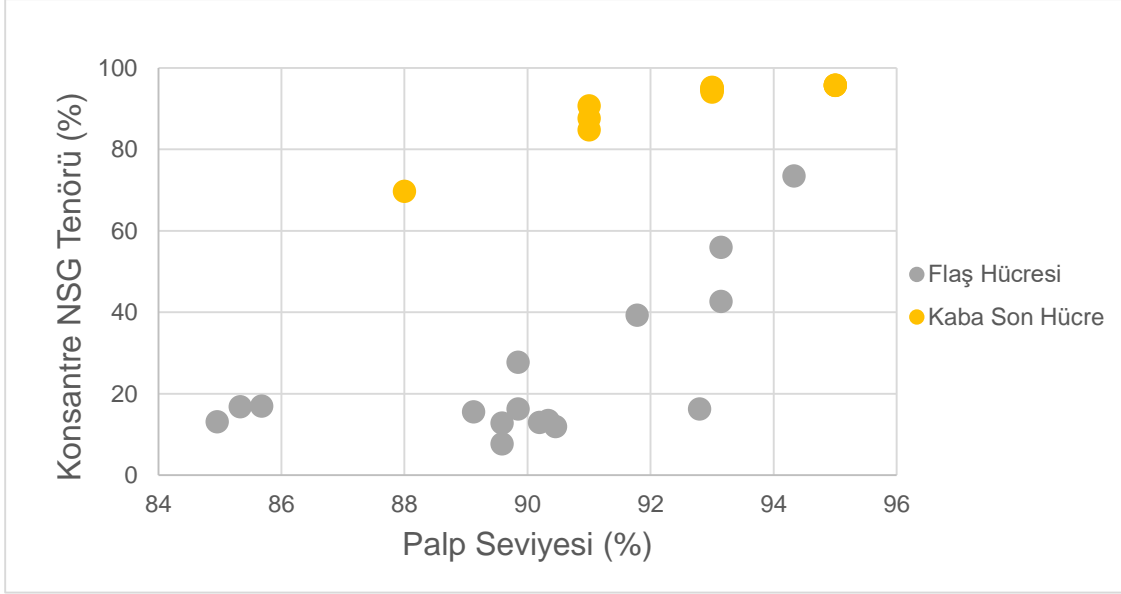
Palp seviyesinin konsantre sülfür tenörüne etkisi Şekil 4.21’de verilmiştir. Palp seviyesi ve konsantre altın tenörü arasındaki ilişkiye benzer bir ilişki görülmektedir. Artan palp seviyesi her iki hücrede de konsantre sülfür tenörünü düşürmektedir.



Şekil 4.21 Palp seviyesi ve konsantre sülfür tenörü ilişkisi

4.1.2.5. Palp Seviyesinin Gang Mineral Tenörüne Etkisi

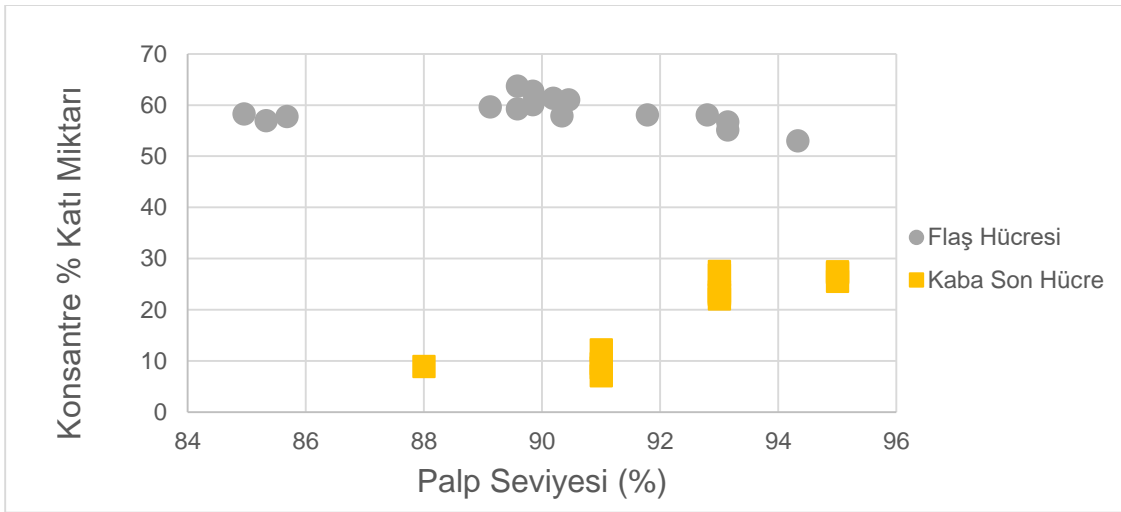
Palp seviyesinin konsantre gang mineral tenörüne etkisi Şekil 4.22’de verilmiştir. Palp seviyesindeki artışın her iki hücreden elde edilen konsantrelerin gang mineral tenörünü arttırdığı görülmektedir. Kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinde elde edilen konsantrelerin gang mineral tenörlerinin flaş hücresine göre çok daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4.22 Palp seviyesi ve konsantre gang mineral tenörü ilişkisi

4.1.2.6. Palp Seviyesinin Konsantre % Katı Miktarına Etkisi

Palp seviyesinin konsantre % katı miktarına etkisi Şekil 4.23'te verilmiştir. Flaş hücrelerinde kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresine göre çok daha yüksek % katı değerleri elde edildiği görülmektedir. Palp seviyesindeki artışın flaş hücrelerinden elde edilen konsantrelerin % katı miktarlarını düşürürken, kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinden elde edilen konsantrelerin % katı miktarlarını arttırdığı görülmektedir.



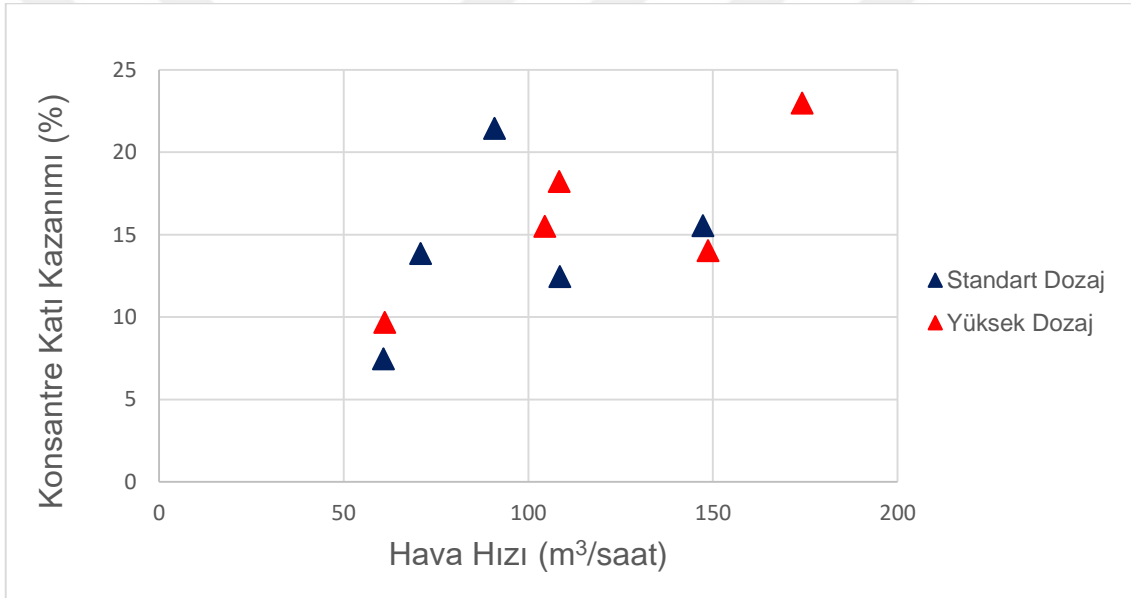
Şekil 4.23 Palp seviyesi ve konsantre % katı miktarı ilişkisi

4.1.3.Köpürtücü Dozajının Metalurjik Performansa Etkisi

Gerçekleştirilen çalışma kapsamında kaba flotasyon devresinin birinci hücresindeki testlerde köpürtücü dozajı iki katına çıkarılmıştır. Böylece köpürtücü dozajındaki değişimin hücrenin metalurjik performansı üzerindeki etkisi incelenebilmiştir.

4.1.3.1.Köpürtücü Dozajının Katı Kazanımına Etkisi

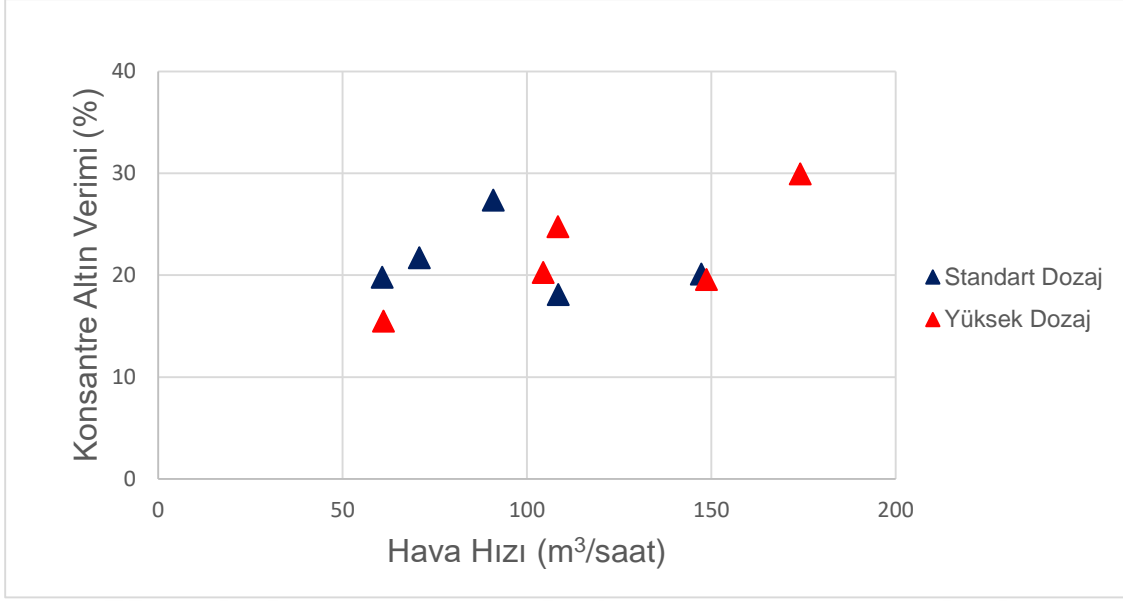
Kaba flotasyon devresinin birinci hücresinde hava hızının konsantre katı kazanımına etkisi iki farklı köpürtücü dozajı için Şekil 4.24'te verilmiştir. Her iki köpürtücü dozajı durumunda da hava hızındaki artışın konsantre katı kazanımını arttırdığı görülmektedir.



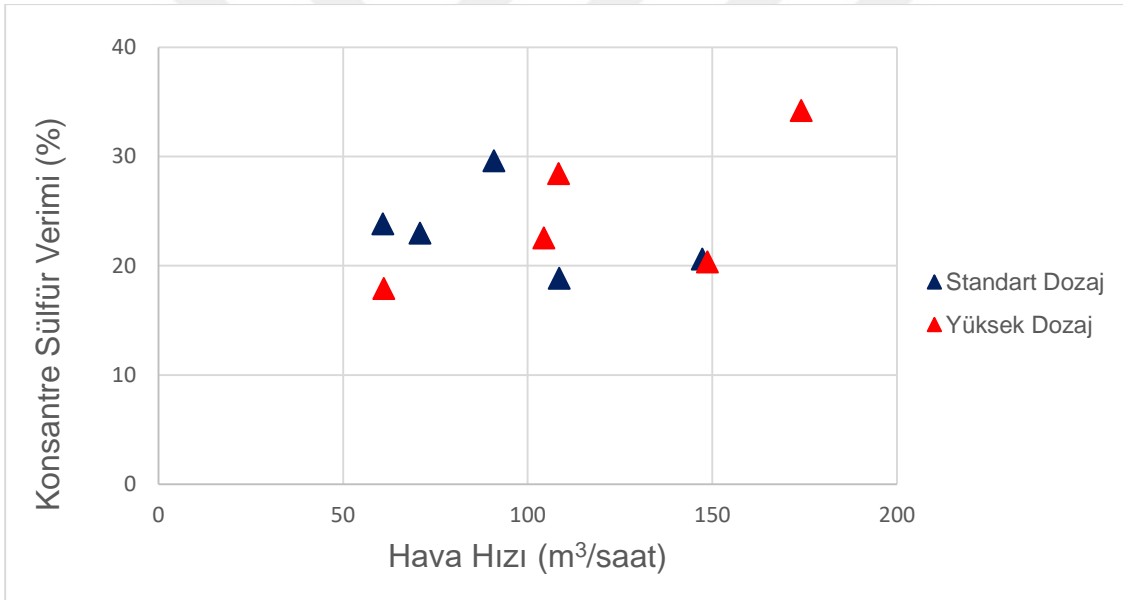
Şekil 4.24 Köpürtücü dozajı ve konsantre katı kazanımı ilişkisi

4.1.3.2.Köpürtücü Dozajının Altın ve Sülfür Verimine Etkisi

Kaba flotasyon devresinin birinci hücresinde hava hızının altın ve sülfür verimine etkisi iki farklı köpürtücü dozajı için Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'da verilmiştir. Altın ve Sülfür verimlerinin her iki köpürtücü dozajı durumunda da hava hızındaki artışa karşılık benzer değerler aldığı görülmektedir.



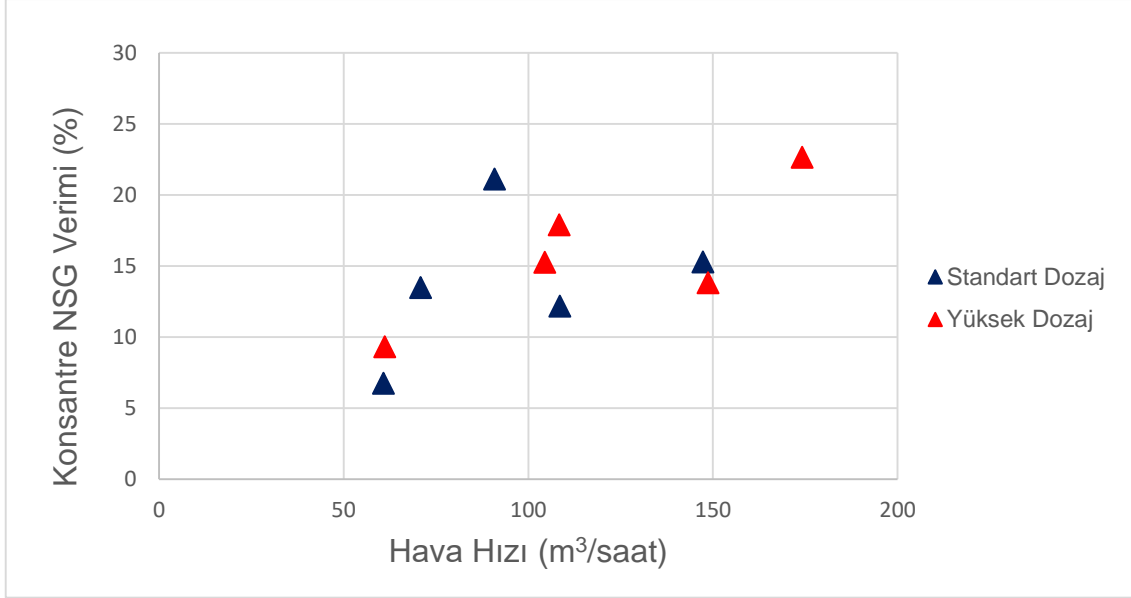
Şekil 4.25 Köpürtücü dozajı ve konsantrasyon altın verimi ilişkisi



Şekil 4.26 Köpürtücü dozajı ve konsantrasyon sülfür verimi ilişkisi

4.1.3.3.Köpürtücü Dozajının Gang Mineral Verimine Etkisi

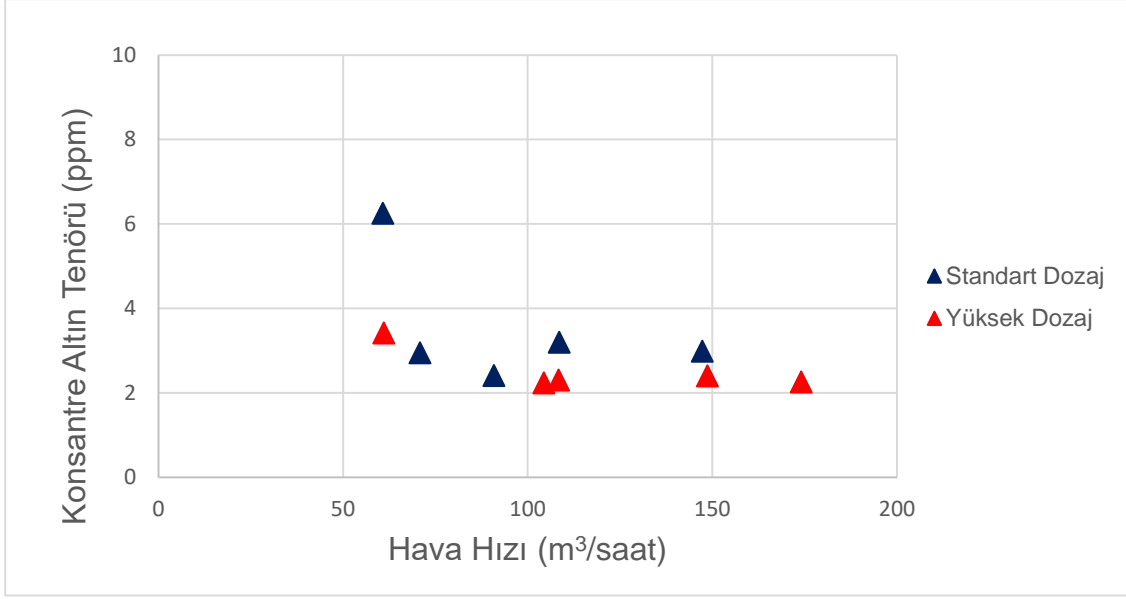
Kaba flotasyon devresinin birinci hücresinde hava hızının gang mineral verimine etkisi iki farklı köpürtücü dozajı için Şekil 4.27’de verilmiştir. Her iki köpürtücü dozajı durumunda da hava hızındaki artışın gang mineral verimini arttırdığı görülmektedir.



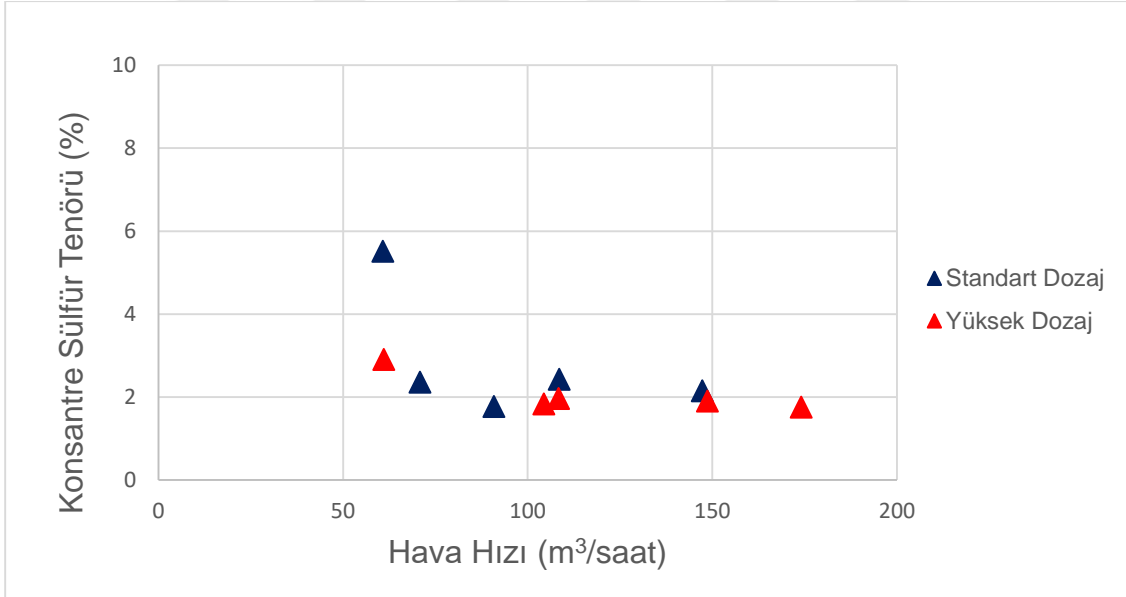
Şekil 4.27 Köpürtücü dozajı ve konsantre gang mineral verimi ilişkisi

4.1.3.4.Köpürtücü Dozajının Konsantre Altın ve Sülfür Tenörüne Etkisi

Kaba flotasyon devresinin birinci hücresinde hava hızının altın ve sülfür tenörüne etkisi iki farklı köpürtücü dozajı için Şekil 4.28 ve Şekil 4.20’de verilmiştir. altın ve sülfür tenörlerinin her iki köpürtücü dozajı durumunda da hava hızındaki artışa karşılık benzer şekilde hareket ettiği görülmektedir. Genel olarak hava hızındaki artışa karşılık her iki elementin konsantre tenörlerinde hafif bir azalma meydana geldiği görülmektedir.



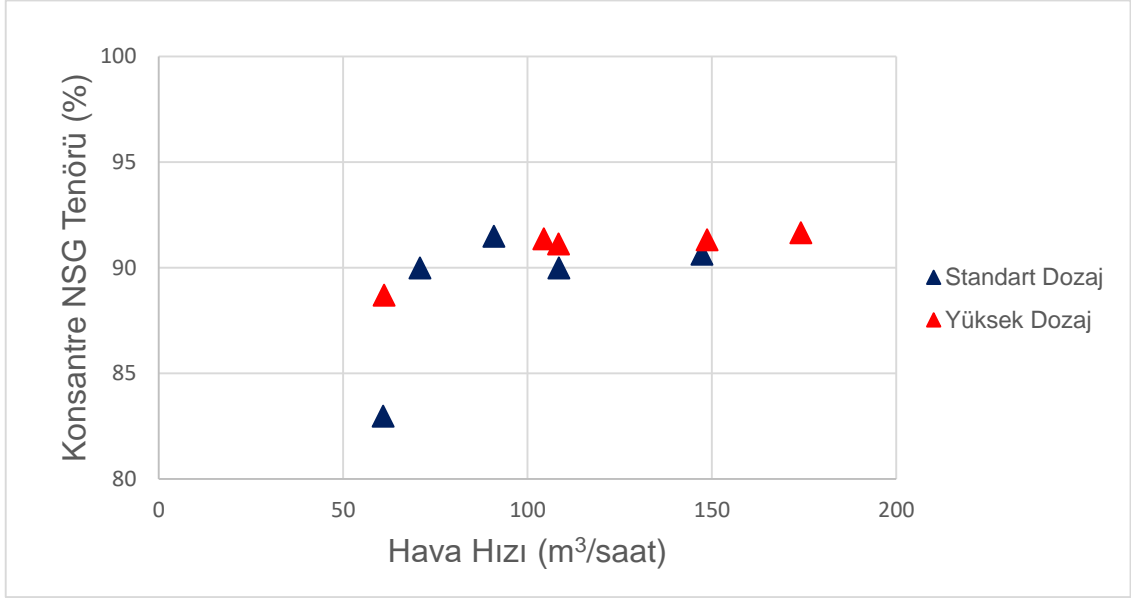
Şekil 4.28 Köpürtücü dozajı ve konsantr altın tenörü ilişkisi



Şekil 4.29 Köpürtücü dozajı ve konsantr sülfür tenörü ilişkisi

4.1.3.5.Köpürtücü Dozajının Konsantre Gang Mineral Tenörüne Etkisi

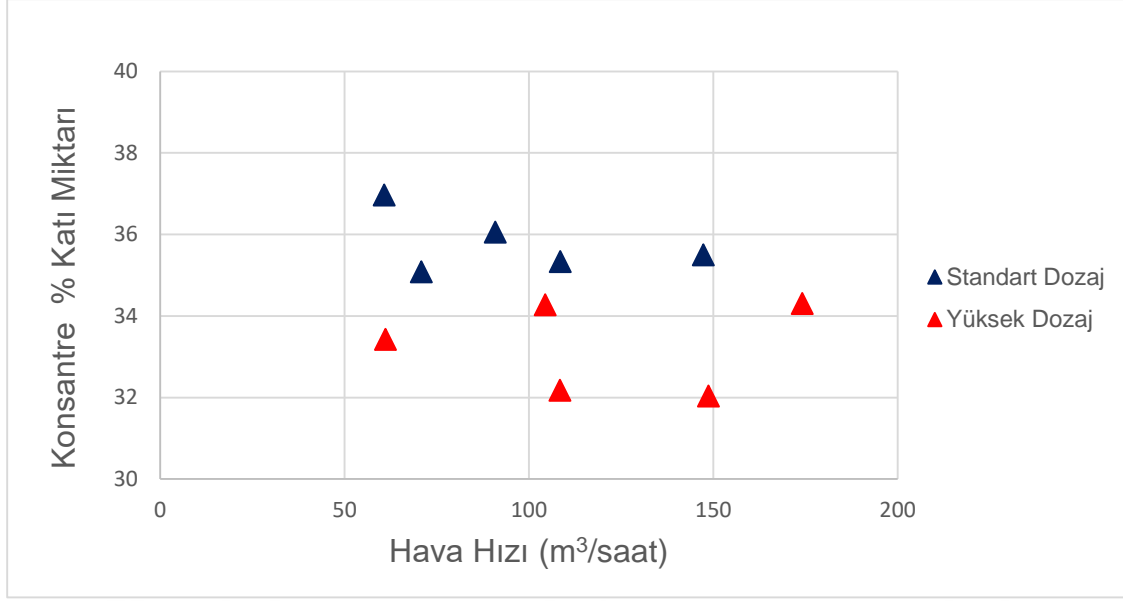
Kaba flotasyon devresinin birinci hücresinde hava hızının gang mineral tenörüne etkisi iki farklı köpürtücü dozajı için Şekil 4.30'da verilmiştir. Yüksek köpürtücü dozajında gerçekleştirilen testlerdeki konsantrelerin gang mineral tenörlerinin standart köpürtücü dozajında gerçekleştirilen testlere göre biraz daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4.30 Köpürtücü dozajı ve konsantre gang mineral tenörü ilişkisi

4.1.3.6.Köpürtücü Dozajının Konsantre % Katı Miktarına Etkisi

Kaba flotasyon devresinin birinci hücresinde hava hızının konsantre % katı miktarı etkisi iki farklı köpürtücü dozajı için Şekil 4.31'de verilmiştir. Standart köpürtücü dozajında gerçekleştirilen testlerin konsantrelerinin % katı miktarlarının, yüksek köpürtücü dozajındaki testlere göre daha yüksek olduğu görülmektedir.



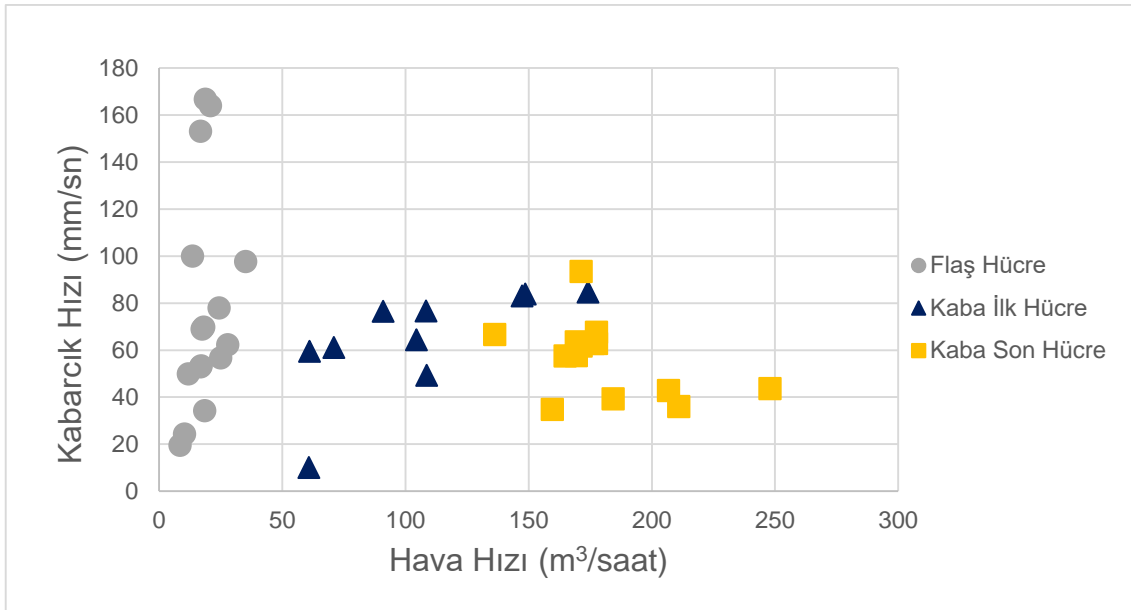
Şekil 4.31 Köpürtücü dozajı ve konsantre % katı miktarı ilişkisi

4.2. Hava Hızı, Palp Seviyesi ve Köpürtücü Dozajının Köpük Parametrelerine Etkileri

4.2.1. Hava Hızının ve Palp Seviyesinin Kabarcık Hızına Etkisi

Üç farklı flotasyon hücrelerinde hava hızındaki değişimin kabarcık hızına etkisi Şekil 4.32'de verilmiştir. Flaş hücrelerinde diğer hücrelerden daha yüksek kabarcık hızı değerleri elde edildiği görülmektedir. Flaş hücrelerinde elde edilen bu üç yüksek kabarcık hızı değerleri (166 mm/sn, 164 mm/sn ve 153 mm/sn) dışındaki gözlemlerin, kaba flotasyon devresindeki hücrelerden elde edilen kabarcık hızı değerleri ile benzer aralıkta olduğu görülmektedir. En düşük kabarcık hızı değeri kaba flotasyon devresinin birinci hücrelerinde 10.11 mm/sn olarak gözlemlenmiştir. Flaş hücrelerinin işletildiği hava hızı değerleri 0-35 m³/sa aralığındayken, kaba flotasyon devresinin birinci hücrelerinin işletildiği hava hızı değeri 60-175 m³/sa aralığında değişmektedir. Kaba flotasyon devresinin sonuncu hücrelerinin işletildiği hava hızı değeri ise 135-250 m³/sa arasında değişmektedir. Bu bakımdan flaş hücrelerinde, kaba flotasyon devresinin hücrelerine verilmekte olan hava miktarından çok daha az bir hava miktarı ile çok daha yüksek kabarcık hızı değerlerine ulaşılabildiği görülmektedir. Aynı şekilde, kaba flotasyon devresinin birinci hücrelerinde, sonuncu hücrelerine göre daha az miktarda hava sağlanmasına karşın daha yüksek kabarcık hızı değerleri elde edilebilmektedir. Flaş hücrelerinde

hava hızındaki artış kabarcık hızını radikal bir şekilde arttırmaktadır. Bu hücrede hava hızı-kabarcık hızı ilişkisinin dike yakın olduğu görülmektedir. Kaba flotasyon devresinin birinci hücresinde kabarcık hızının hava hızındaki artış ile arttığı görülmektedir. Ancak bu ilişki flaş hücresindeki kadar radikal değildir. Bu iki hücre karşılaştırıldığı zaman kaba flotasyon devresinin birinci hücresindeki artışın flaş hücresine göre daha yatık bir şekilde olduğu görülmektedir. Kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinde ise verilerin dağılımından dolayı kabarcık hızı ile hava hızı arasında bir ilişki görülmemektedir. Bu bakımdan her bir hücredeki kabarcık hızı değişimi kendi içerisinde değerlendirilmelidir.

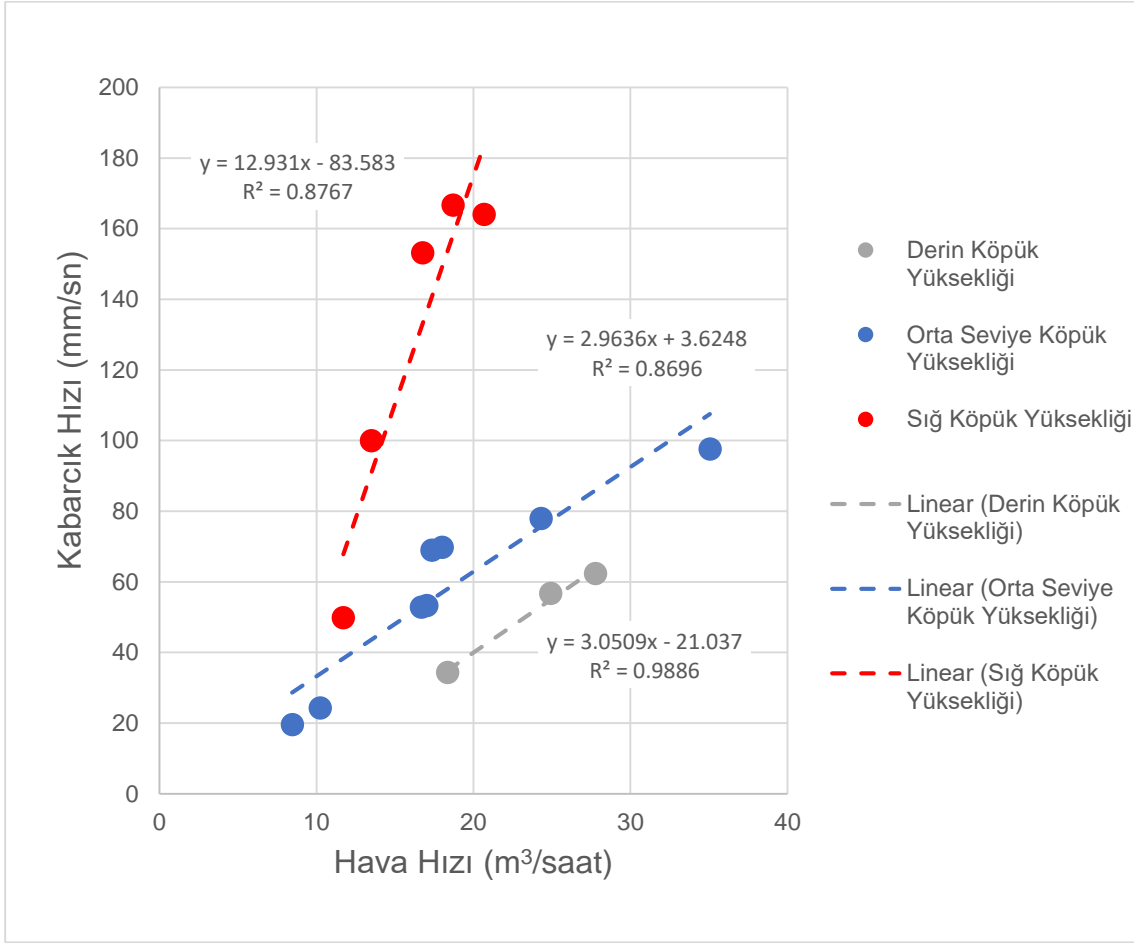


Şekil 4.32 Hava hızı ve kabarcık hızı ilişkisi

4.2.1.1.Flaş Hücrede Hava Hızının ve Palp Seviyesinin Kabarcık Hızına Etkisi

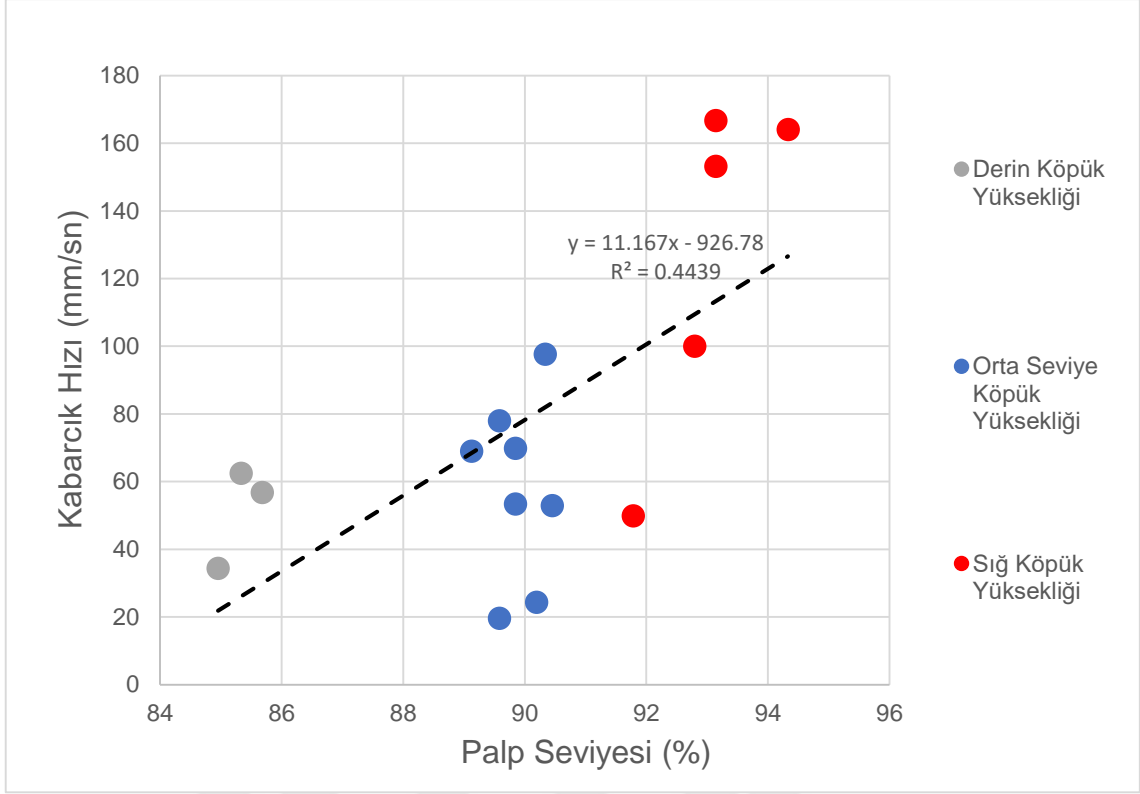
Şekil 4.33'te flaş hücresi için hava hızının kabarcık hızı ile olan ilişkisini gösterilmektedir. Flaş hücresi için gerçekleştirilen tüm testler, test edilmiş oldukları köpük seviyesine göre sınıflandırıldıklarında üç farklı doğrusal eğilim çizgisi ortaya çıkmıştır. Buna göre farklı köpük yüksekliğindeki testlerde aynı hava hızı değerlerinde farklı kabarcık hızı değerleri elde edilmektedir. Tüm köpük sınıfını yüksekliklerinde hava hızındaki artış kabarcık hızını arttırmaktadır. Hava hızındaki değişimin etkisi sığ köpük yüksekliğinde diğer köpük yüksekliklerine göre daha barizdir. Bu bakımdan en yüksek hava hızı değerleri sığ köpük

yüksekliği sınıfında elde edilmiştir. Genel olarak flaş hücrelerinde palp seviyesindeki artışın/köpük yüksekliğindeki düşüşün ve hava hızındaki artışın kabarcık hızını arttırdığı görülmektedir.



Şekil 4.33 Flaş hücrede hava hızı ve kabarcık hızı ilişkisi

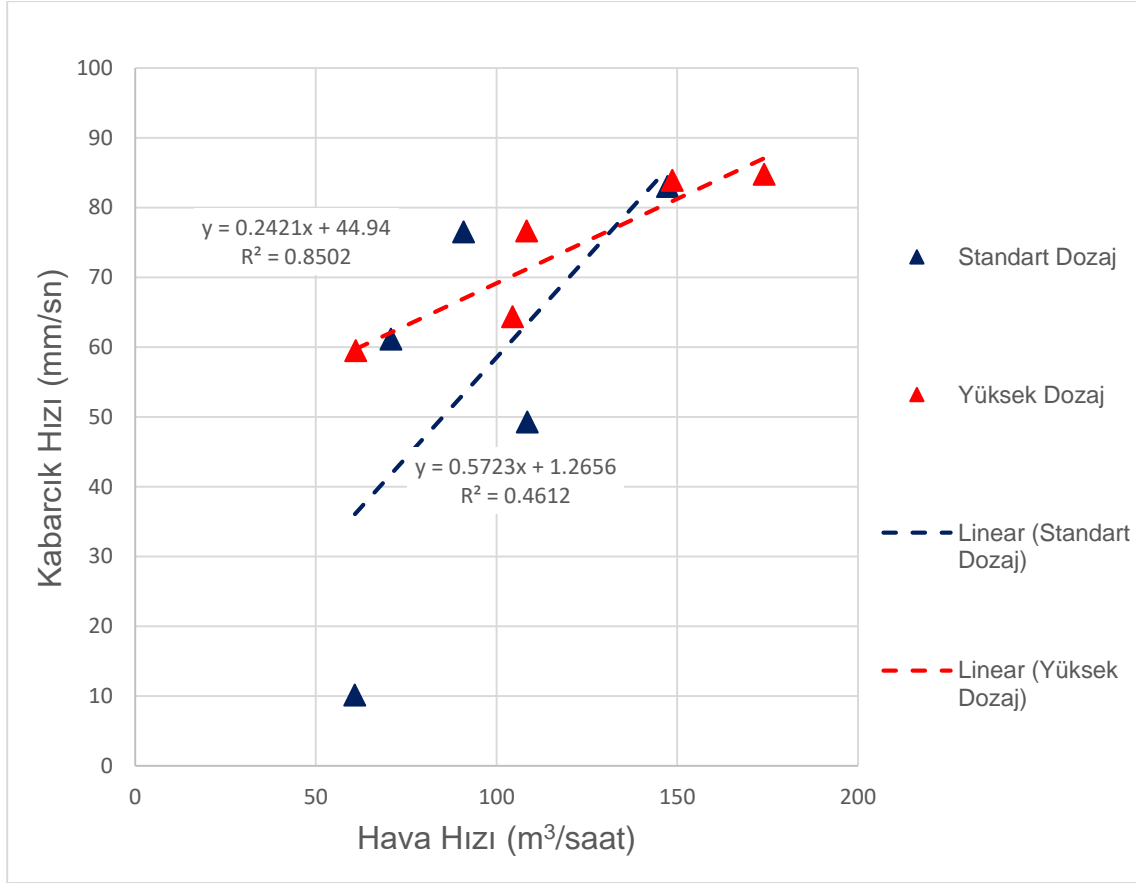
Şekil 4.34'te flaş hücresi için palp seviyesinin kabarcık hızı ile olan ilişkisini gösterilmektedir. Flaş hücresi için gerçekleştirilen tüm testler, test edilmiş oldukları köpük seviyesine göre sınıflandırılmıştır. Kabarcık hızının artan palp seviyesi/azalan köpük yüksekliği ile arttırdığı görülmektedir.



Şekil 4.34 Flaş hücrede palp seviyesi ve kabarcık hızı ilişkisi

4.2.1.2.Kaba İlk Hücrede Hava Hızının ve Köpürtücü Dozajının Kabarcık Hızına Etkisi

Şekil 4.35'te kaba flotasyon devresinin birinci hücresi için hava hızının kabarcık hızı ile olan ilişkisi gösterilmektedir. Bu hücre için gerçekleştirilen tüm testler, test edilmiş oldukları köpürtücü dozajına göre sınıflandırılmıştır. İki farklı köpürtücü dozajında da hava hızındaki artışın kabarcık hızını artırdığı görülmektedir. Ancak, yüksek köpürtücü dozajının test edildiği veri grubu için elde edilen doğrusal eğilim çizgisi standart köpürtücü dozajı grubuna göre istatistiksel olarak daha anlamlıdır. Standart köpürtücü dozajındaki testlerden elde edilen kabarcık hızı değerlerinin yüksek köpürtücü dozajı grubuna göre daha dağınık olduğu görülmektedir. Yüksek hava hızı değerlerinde yüksek köpürtücü dozajı grubunda da 85 mm/sn, standart köpürtücü dozajı grubunda ise 83 mm/sn kabarcık hızı değerlerine ulaşılabilmiştir. Bu bakımdan yüksek hava hızı değerlerinde benzer kabarcık hızı değerleri elde edilebilmiştir. Ancak, düşük hava hızı değerlerinde standart köpürtücü dozajından elde edilen kabarcık hızı değerinin 10.11 mm/sn değerine kadar düşebildiği görülmektedir.

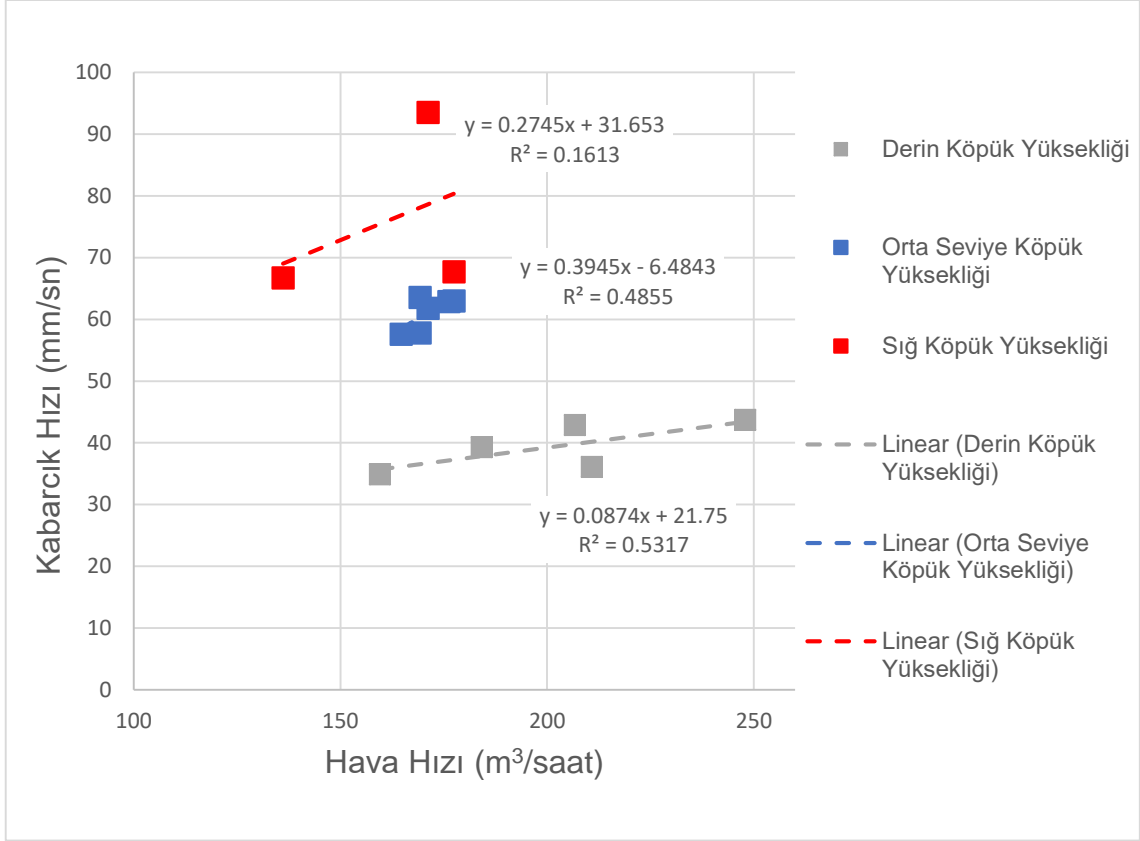


Şekil 4.35 Kaba flotasyon devresi birinci hücrede hava hızı ve kabarcık hızı ilişkisi

4.2.1.3.Kaba Son Hücrede Hava Hızının ve Palp Seviyesinin Kabarcık Hızına Etkisi

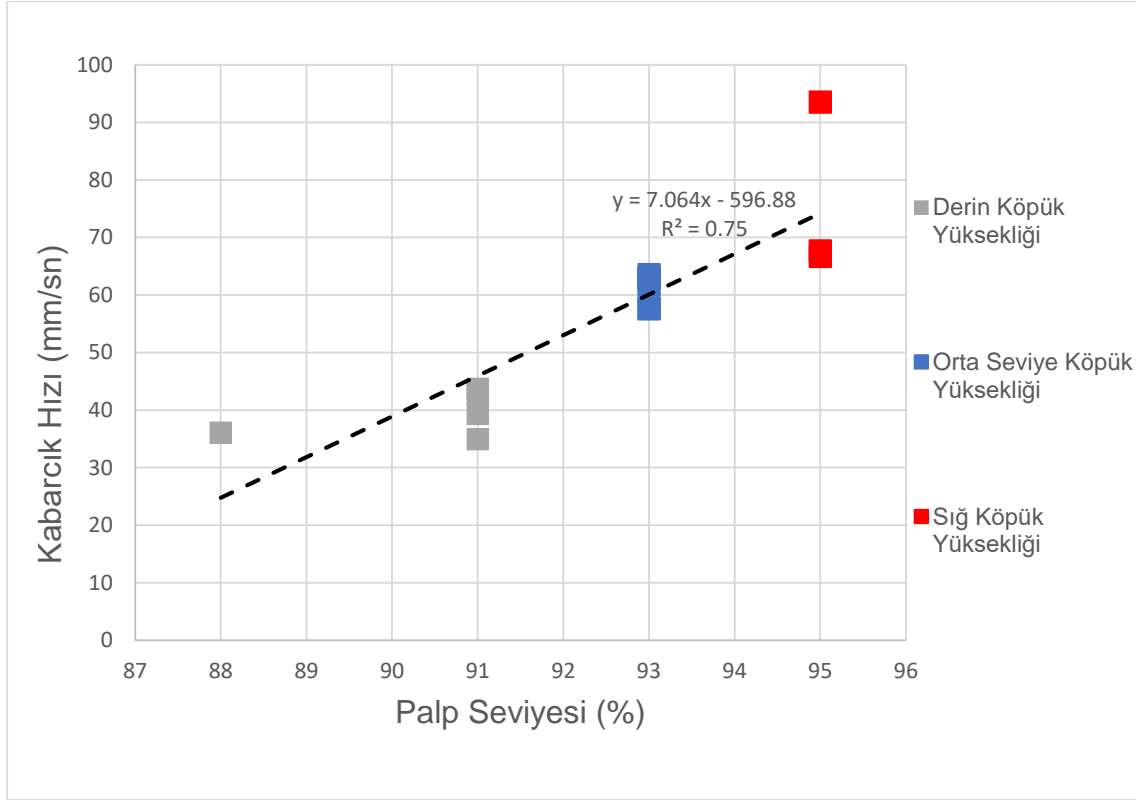
Şekil 4.36 kaba flotasyon devresinin son hücresi için hava hızının kabarcık hızı ile olan ilişkisi gösterilmektedir. Bu hücre için gerçekleştirilen tüm testler, test edilmiş oldukları köpük seviyesine göre sınıflandırıldıklarında üç farklı doğrusal eğilim çizgisi ortaya çıkmıştır. Buna göre farklı köpük yüksekliğindeki testlerde aynı hava hızı değerlerinde farklı kabarcık hızı değerleri elde edilmektedir. Hava hızındaki artışın kabarcık hızı üzerindeki etkisi flaş hücresinde gözlemlendiği kadar net değildir, ancak çok hafif bir artış olduğu görülmektedir. En yüksek kabarcık hızı değerleri sığ köpük yüksekliği sınıfına ait testlerde elde edilmiştir. Bu gruba ait olan verilerin diğer test gruplarına göre grafik üzerinde daha dağınık bir şekilde bulunduğu görülmektedir. En düşük kabarcık hızı değerleri ise derin köpük yüksekliği sınıfına ait testlerde elde edilmiştir. Bu gruba ait olan verilerin belirgin bir şekilde doğrusal bir eğilim çizgisi oluşturdukları görülmektedir. Kaba

flotasyon devresinin sonuncu hücresindeki kabarcık hızının belirlenmesinde hava hızından daha çok hücrenin palp seviyesinin/köpük yüksekliğinin etkili olduğu görülmektedir. Genel olarak bu hücrede palp seviyesindeki artışın/köpük yüksekliğindeki düşüşün kabarcık hızını arttırdığı görülmektedir



Şekil 4.36 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücrede hava hızı ve kabarcık hızı ilişkisi

Şekil 4.37’de kaba flotasyon devresinin son hücresi için palp seviyesinin kabarcık hızı ile olan ilişkisi gösterilmektedir. Kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresi için gerçekleştirilen tüm testler, test edilmiş oldukları köpük seviyesine göre sınıflandırılmıştır. Kabarcık hızının artan palp seviyesi/azalan köpük yüksekliği ile arttırdığı görülmektedir

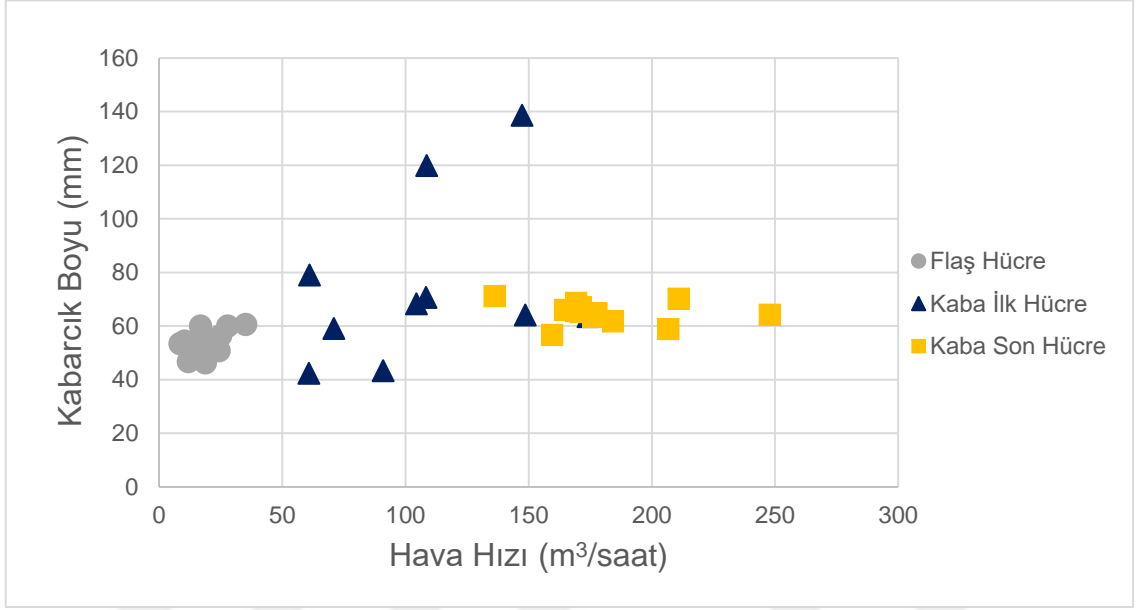


Şekil 4.37 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücrede palp seviyesi ve kabarcık hızı ilişkisi

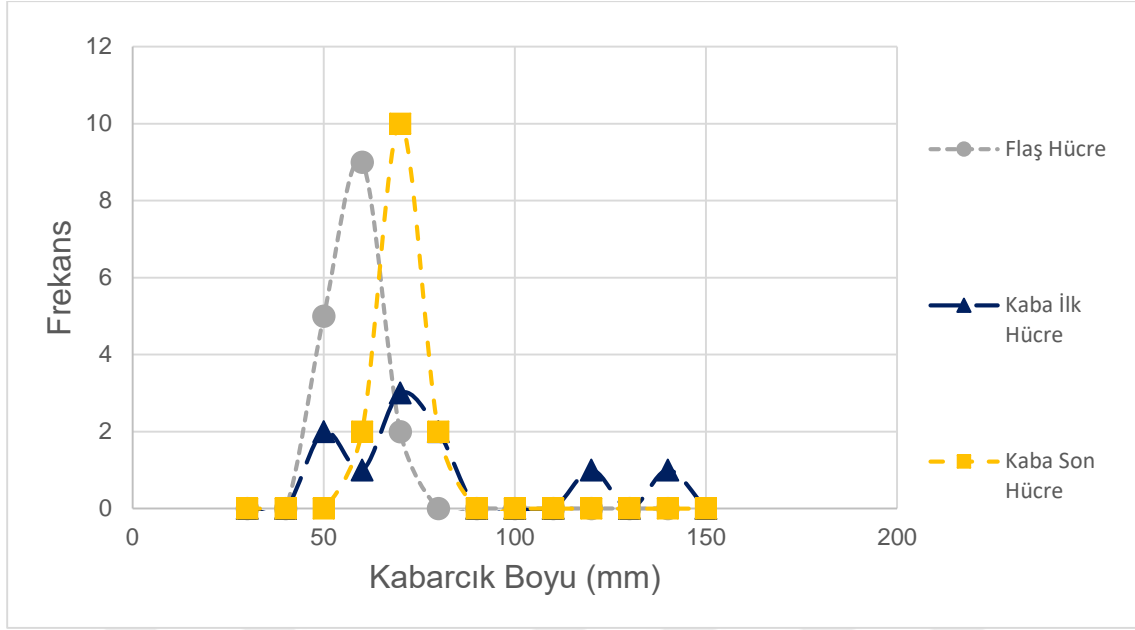
4.2.2.Hava Hızının ve Palp Seviyesinin Kabarcık Boyuna Etkisi

Üç farklı flotasyon hücresinde hava hızındaki değişimin kabarcık boyuna etkisi Şekil 4.38'de verilmiştir. Flaş ve kaba flotasyon devresinin sonuncu hücrelerinde elde edilen kabarcık boyutlarının dar bir aralıkta olduğu görülmektedir. Buna karşın, kaba flotasyon devresinin birinci hücresinde elde edilen kabarcık boyutlarının geniş bir aralığa dağılmış olduğu görülmektedir. Hava hızının kabarcık boyu üzerindeki etkisi açık değildir. Gerçekleştirilen tüm testler için her bir hücrenin kabarcık boyu dağılımı Şekil 4.39'da verilmiştir. Çizelge 4.1 her bir flotasyon hücresinde elde edilen kabarcık boyu için ortalama ve medyan değerleri göstermektedir. Buna göre, gerçekleştirilen çalışma kapsamında köpük fazı yüzeyinde en ince kabarcıklar flaş hücresinde gözlemlenmiştir (52 mm). Flaş hücreden sonra en ince kabarcıklar kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinde (65 mm) ve en iri kabarcıklar kaba flotasyon devresinin birinci hücresinde gözlemlenmiştir (75 mm). Şekil 4.39'da flaş hücresinde ve kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinde elde edilen kabarcık boyu dağılımlarının normal dağılıma çok yakın olduklarını görülmektedir. Çizelge

4.1’de bu iki hücre için kabarcık boyu ortalamasının ve meydan değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir. Ancak, aynı durum kaba flotasyon devresinin birinci hücresi için gözlemlenememiştir. Bu hücrede elde edilen kabarcık boyutlarının bimodal dağılım sergilediği görülmektedir. Çizelge 4.1’de bu hücre için ortalama ve medyan kabarcık boyu değerleri arasında bariz bir fark bulunduğu da görülmektedir.



Şekil 4.38 Hava hızı ve kabarcık boyu ilişkisi



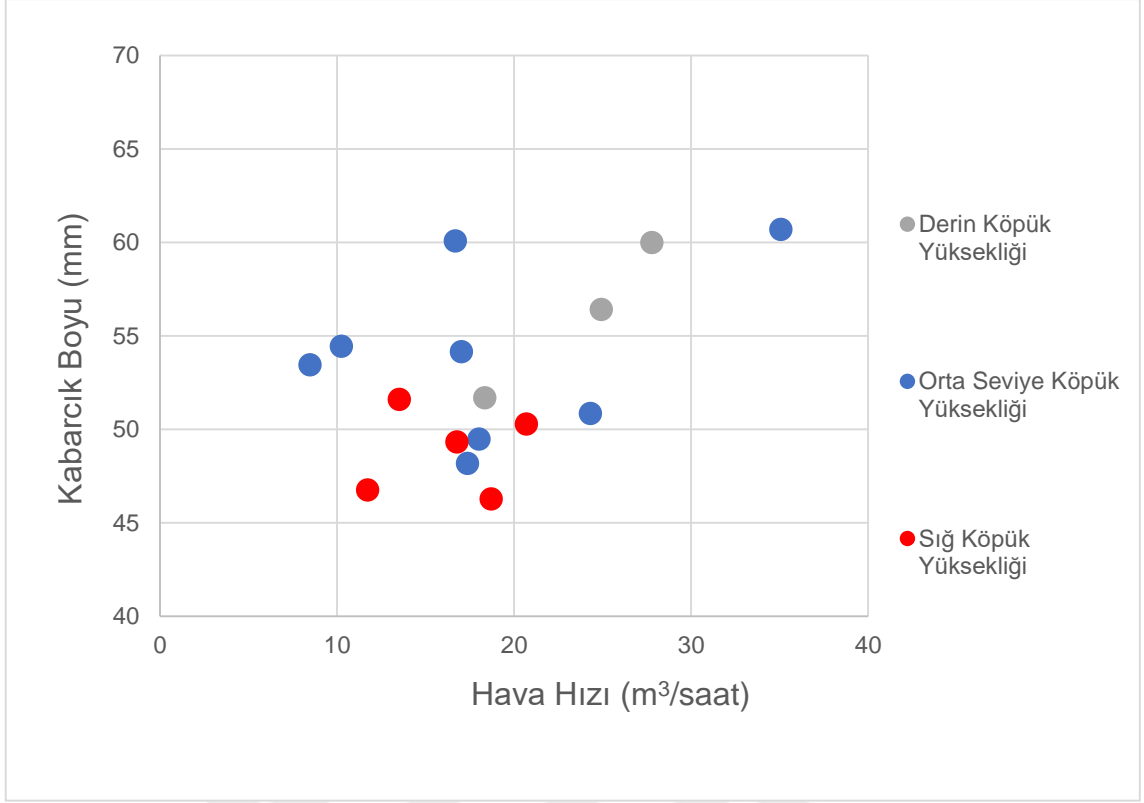
Şekil 4.39 Kabarcık boyu dağılımları

Çizelge 4.1 Kabarcık boyu ortalama ve medyan değerleri

Kabarcık Boyu (mm)		
	Ortalama	Medyan
Flaş Hücre	52,73	51,65
Kaba İlk Hücre	74,90	66,23
Kaba Son Hücre	64,84	64,95

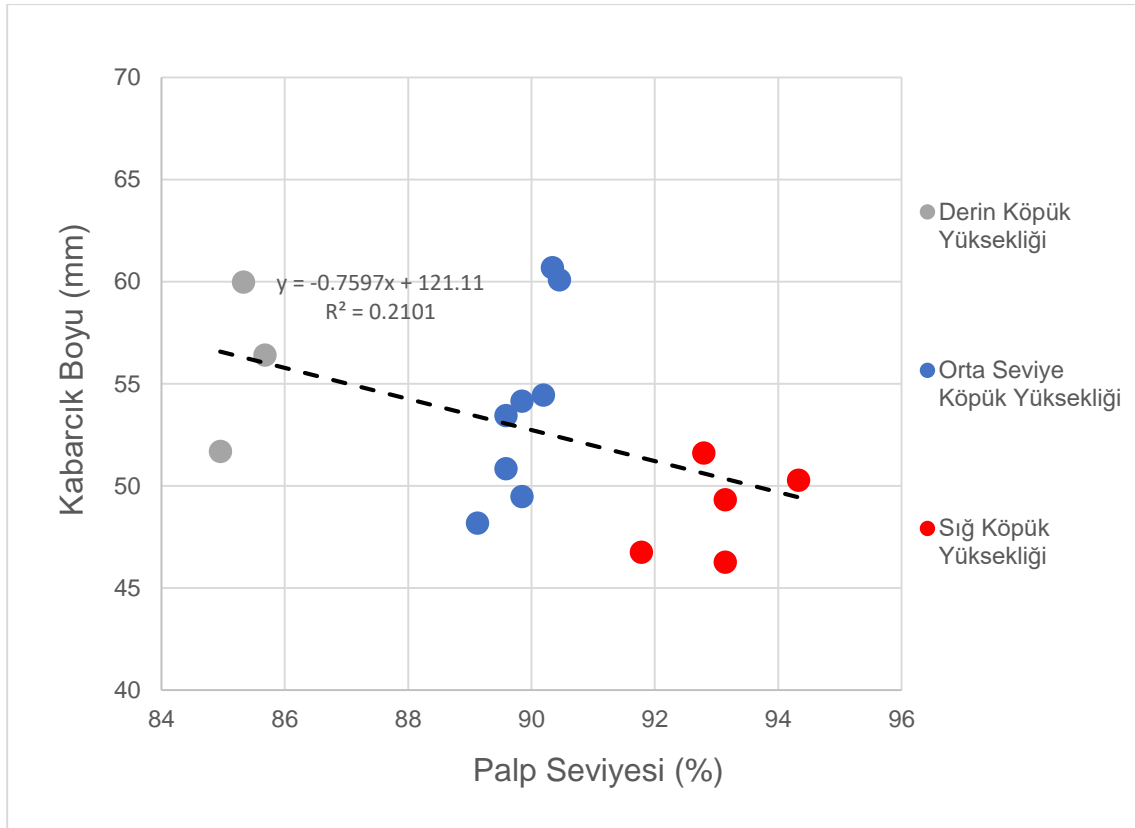
4.2.2.1. Flaş Hücrede Hava Hızının ve Palp Seviyesinin Kabarcık Boyuna Etkisi

Flaş hücresinde hava hızının kabarcık boyu üzerindeki etkisi Şekil 4.40'da verilmiştir. Şekilde her bir test, test edilmiş olduğu köpük yüksekliği sınıfına göre kategorize edilmiştir. Buna göre, flaş hücresinde kabarcık boyu ve hava hızı arasında belirgin bir ilişki olduğu görülememektedir.



Şekil 4.40 Flaş hücrede hava hızı ve kabarcık boyu ilişkisi

Şekil 4.41’de flaş hücresi için kabarcık boyunun hücrenin palp seviyesi ile ilişkisini göstermektedir. Şekilde her bir test, test edilmiş olduğu köpük yüksekliği sınıfına göre kategorize edilmiştir. Buna göre palp seviyesindeki artış/köpük yüksekliğindeki düşüş ile köpük yüzeyde gözlemlenen kabarcık boyu değerlerinde düşüş olduğu görülmektedir. Çizelge 4.2’de farklı köpük yüksekliklerinde elde edilen kabarcık boyutlarının ortalama ve medyan değerleri sayısal olarak verilmiştir. Buna göre, flaş hücresinde en iri kabarcıklar derin köpük yüksekliğinde (56 mm), en ince kabarcıkları ise (50 mm) sıg köpük yüksekliğine ait testlerde gözlemlenmiştir. Orta seviye köpük yüksekliğine ait testlerin kabarcık boyutu ise diğer iki köpük yüksekliği sınıfının arasında (54 mm) gözlemlenmiştir.



Şekil 4.41 Flaş hücrede palp seviyesi ve kabarcık boyu ilişkisi

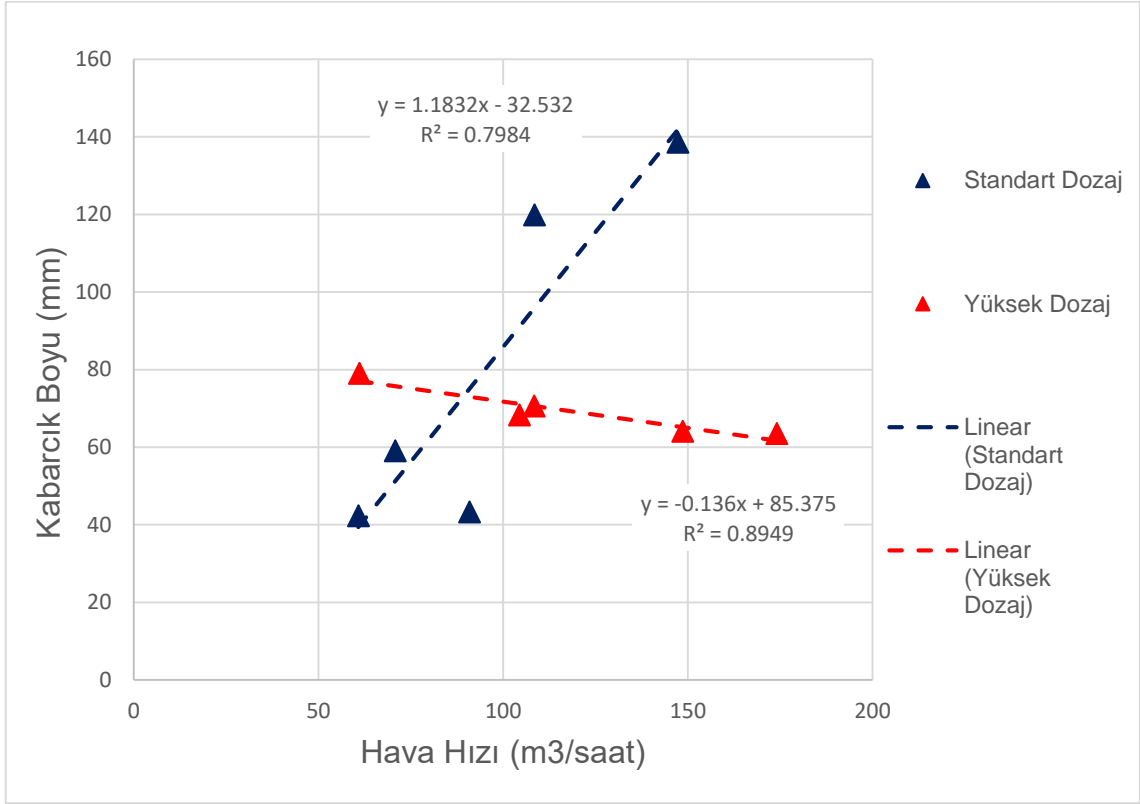
Çizelge 4.2 Flaş hücrede kabarcık boyu ortalama ve medyan değerleri

Kabarcık Boyu (mm)		
	Ortalama	Medyan
Sığ Köpük Yüksekliği	48,9	49,3
Orta Seviye Köpük Yüksekliği	53,9	53,8
Derin Köpük Yüksekliği	56,0	56,4

4.2.2.2.Kaba İlk Hücrede Hava Hızının ve Köpürtücü Dozajının Kabarcık Boyuna Etkisi

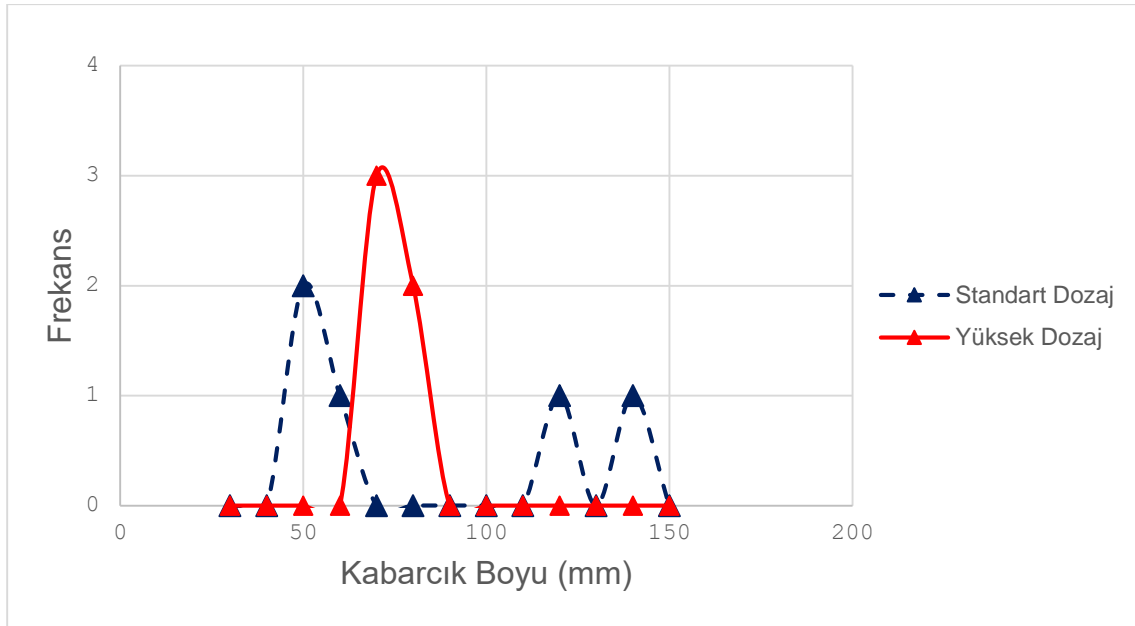
Kaba flotasyon devresinin birinci hücrelerinde hava hızının kabarcık boyu üzerindeki etkisi Şekil 4.42’de verilmiştir. Şekilde her bir test, test edilmiş olduğu köpürtücü dozajına göre kategorize edilmiştir. İki farklı köpürtücü dozajının uygulandığı bu testlerin iki farklı doğrusal eğilim çizgisi ortaya çıkardığı görülmektedir. Buna göre, standart köpürtücü dozajının uygulandığı testlerde hava hızındaki artışın kabarcık boyunu arttırdığı görülmektedir. Yüksek köpürtücü dozajının uygulandığı testler de ise farklı bir davranış gözlemlenmiştir. Bu test

grubunda hava hızındaki artışın kabarcık boyunu arttırmadığı görülmektedir. Hatta eğilim çizgisinin davranışından hava hızındaki artış ile kabarcık boyunun ters ilişkili olduğu görülmektedir



Şekil 4.42 Kaba flotasyon devresi birinci hücrede hava hızı ve kabarcık boyu ilişkisi

Şekil 4.43'te kaba flotasyon devresinin birinci hücresinde gerçekleştirilen iki farklı köpürtücü dozajına ait testlerin kabarcık boyu dağılımları verilmiştir. Çizelge 4.3 her iki farklı köpürtücü dozajı durumunda elde edilen kabarcık boyu değerleri için ortalama ve medyan değerleri göstermektedir Buna göre, standart köpürtücü dozajında gerçekleştirilen testlerden elde edilen kabarcık boyu dağılımının bimodal dağılıma benzediği görülmektedir. Bu köpürtücü dozajına ait testlerden elde edilmiş olan kabarcık boyutlarının ortalama ve medyan değerleri arasında ciddi bir fark bulunmaktadır (81 mm ve 59 mm). Ancak, yüksek köpürtücü dozajı uygulamalarında elde edilen kabarcık boyu dağılımının normal dağılım sergilediği görülmektedir. Bu köpürtücü dozajı testlerinde gözlemlenmiş olan kabarcık boyutlarının ortalama ve medyan değerleri birbirlerine çok yakındır (69 mm ve 68 mm)



Şekil 4.43 Kaba flotasyon devresi birinci hücrede kabarcık boyu dağılımı

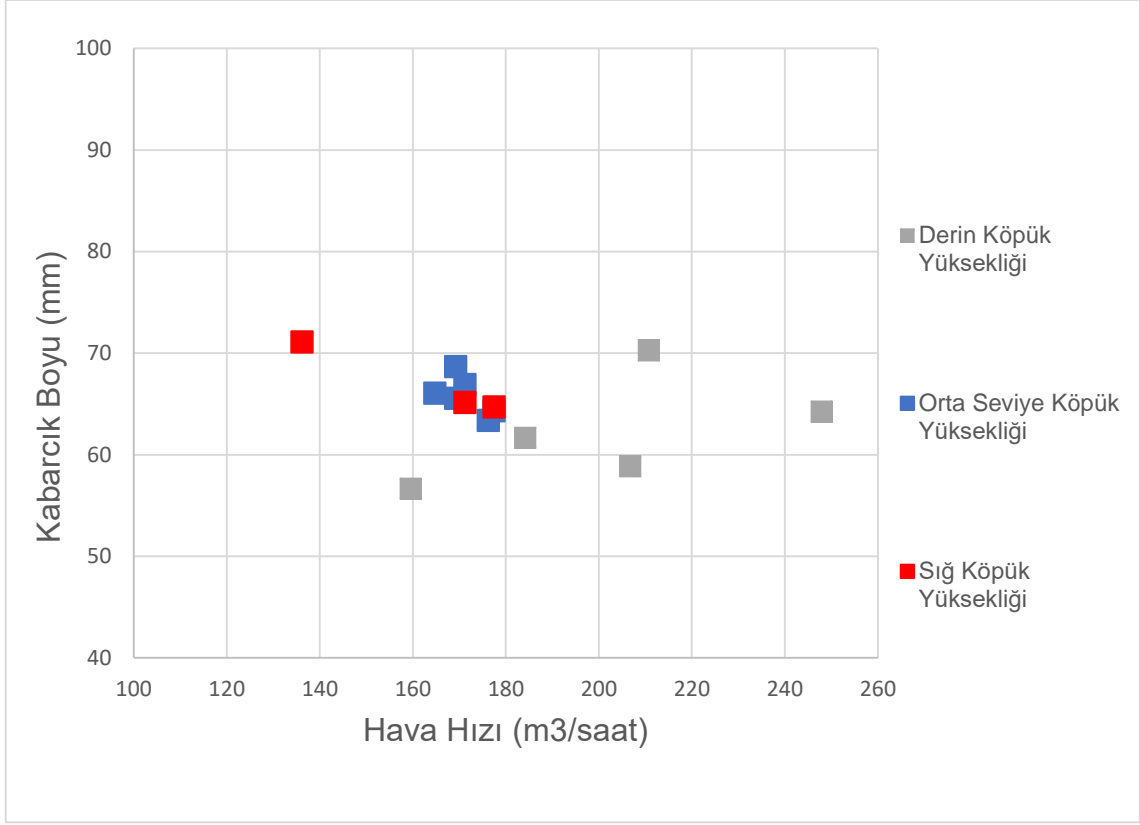
Çizelge 4.3 Kaba flotasyon devresini birinci hücrede kabarcık boyu ortalama ve medyan değerleri

Ortalama Kabarcık Boyu (mm)		
	Ortalama	Medyan
Standart Dozaj	80,7	59,1
Yüksek Dozaj	69,1	68,3

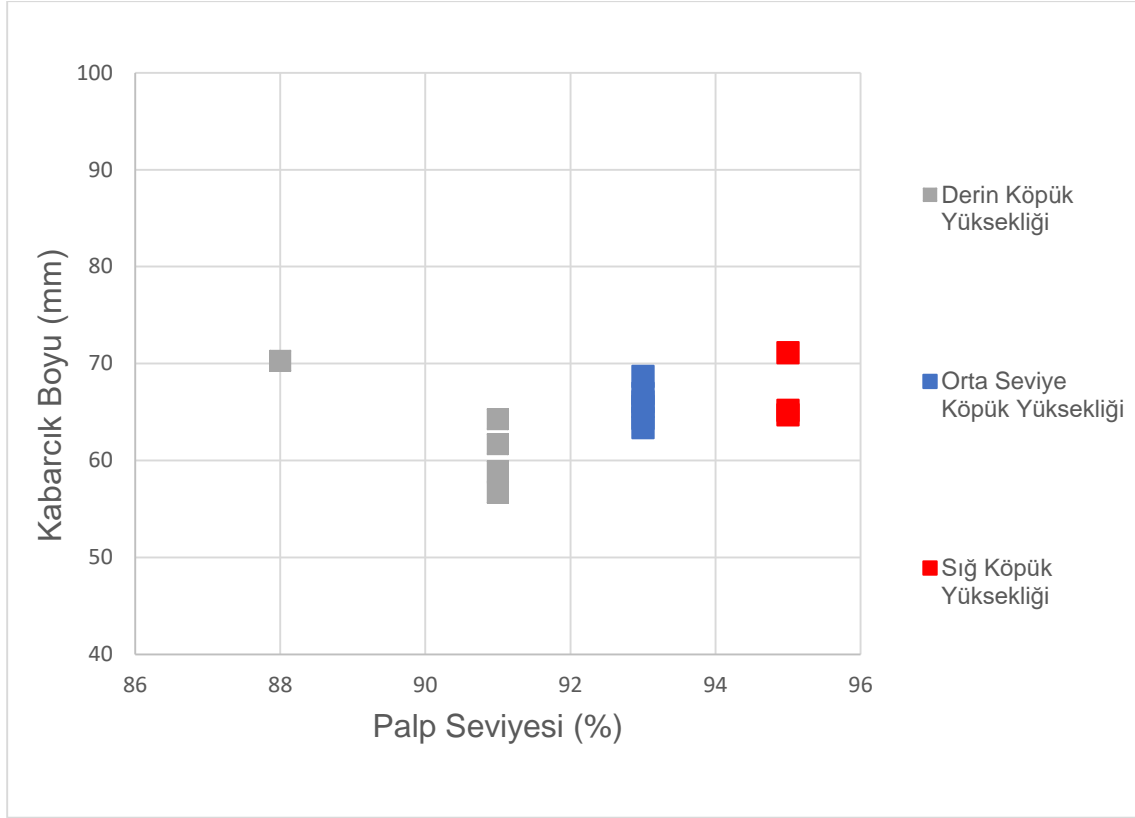
4.2.2.3.Kaba Son Hücrede Hava Hızının ve Palp Seviyesinin Kabarcık Boyuna Etkisi

Kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinde hava hızının kabarcık boyu üzerindeki etkisi Şekil 4.44'te verilmiştir. Şekilde her bir test, test edilmiş olduğu köpürtücü dozajına göre kategorize edilmiştir. Buna göre, kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinde kabarcık boyu ve hava hızı arasında belirgin bir ilişki olduğu görülememektedir. Bu hücre için kabarcık boyunun palp seviyesi ile ilişkisi Şekil 4.45'te verilmiştir. Derin köpük yüksekliği sınıfına ait palp seviyesinin %88 değerinde gerçekleştirilen test hariç tutulursa palp seviyesindeki artış ile kabarcık boyunun arttığı görülmektedir. Çizelge 4.4'te farklı köpük yüksekliklerinde elde edilen kabarcık boyutlarının ortalama ve medyan değerleri sayısal olarak verilmiştir. Buna göre, kaba flotasyon devresinin sonuncu

hücresinde gerçekleştirilen testlerin ortalamasında alındığında en ince kabarcık boyu derin köpük yüksekliği sınıfında (62 mm) ve en iri kabarcık boyu sığ köpük yüksekliği sınıfındaki (67 mm) testlerde gözlemlenmiştir. Orta seviye köpük sınıfındaki testlerin ortalaması 65 mm olarak gözlemlenmiştir.



Şekil 4.44 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücrede hava hızı ve kabarcık boyu ilişkisi



Şekil 4.45 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücre palp seviyesi ve kabarcık boyu ilişkisi

Çizelge 4.4 Kaba flotasyon devresini sonuncu hücrede kabarcık boyu ortalama ve medyan değerleri

Kabarcık Boyu		
(mm)		
	Ortalama	Medyan
Sığ Köpük Yüksekliği	67,01	65,17
Orta Seviye Köpük Yüksekliği	65,83	65,82
Derin Köpük Yüksekliği	62,34	61,67

Flaş flotasyon hücresinde ve kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinde palp seviyesinde ve hücrelere verilen hava miktarlarında gerçekleştirilen değişikliklerin kabarcık hızına olan etkileri Şekil 4.33 ve Şekil 4.36'da görülmektedir. Her iki hücrede de artan palp seviyesinin kabarcık hızını arttırmış olduğu görülmektedir. Bu durum, kabarcık hızı değerinin ayarlanmasında palp seviyesinin kullanılabilirdiğini doğrulamaktadır [6] [76]. Palp seviyesindeki ve hücrelere verilen hava miktarındaki artışın kabarcık hızını arttırmış olduğu geçmiş çalışmalarda da gösterilmiştir [7] [77].

Köpük yüksekliğindeki artış kabarcıkların köpük faz içerisinde geçirmiş oldukları süreyi artırarak kabarcıkların birleşme sıklıklarının arttırmaktadır. Bundan dolayı köpük yüzeyde daha az mobiliteye ve daha iri çapa sahip olan hava kabarcıklarının oluşacağı belirtilmiştir [7] [22] [53] [78]. Flaş flotasyon hücresinde palp seviyesi ve ortalama kabarcık boyu ilişkisi Çizelge 4.2'de verilmiştir. Çizelge 4.2'de palp seviyesindeki artış/köpük yüksekliğindeki düşüş kabarcık boyunun ortalama ve medyan değerlerini düşürmüştür. Bu durumun literatür ile uyumlu olduğu görülmektedir.

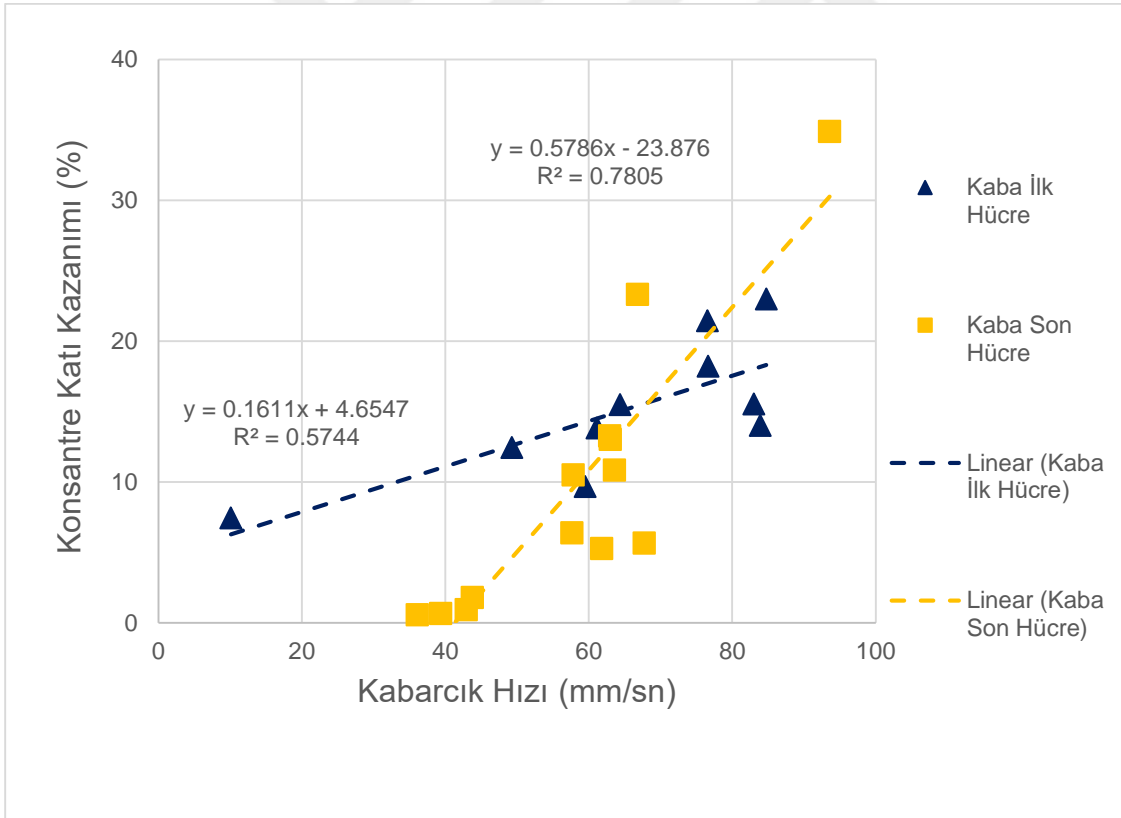
Kaba flotasyon devresinin birinci hücresinde köpürtücü dozajının iki katına çıkarılmasıyla kabarcık hızı ile hava hızı arasındaki ilişkinin standart köpürtücü dozajında gözlemlenenlere göre daha anlamlı bir hale gelmiş olduğu Şekil 4.35'te görülmektedir. Ayrıca, köpürtücü dozajındaki artışın artan hava hızına rağmen kabarcık boyunu arttırmamış olduğu Şekil 4.42'de görülmektedir. Köpürtücü dozajının flotasyon hücresindeki hava kabarcıklarının boyutlarını ve dayanımlarını etkilediği bilinmektedir [13].[79]. Köpürtücü dozajının artmasıyla birlikte hava kabarcıklarının dayanımlarında artış ve boyutlarında da incelleme meydana gelecektir. Böylece hava kabarcıklarının artan yüzey alanlarından kaynaklı olarak köpük faza daha fazla miktarda su taşınacak ve köpüğün mobilitesi artacaktır [80] [81]. Şekil 4.31 yüksek köpürtücü dozajında gerçekleştirilen testlerin konsantre % katı miktarlarının standart dozajda gerçekleştirilen testlere göre daha düşük olduğunu göstermektedir. Bu hücrede artan köpürtücü dozajının hava kabarcıklarının dayanımlarını artırarak daha mobil kabarcıklar oluşturduğu sonucuna varılabilmektedir. Kabarcık hızının artan köpürtücü dozajı ile artmış olduğu kömür flotasyonu gerçekleştirilen kolon hücrelerinde yapılan çalışmada da görülmüştür [7].

4.3. Köpük Parametreleri ve Metalurjik Performans İlişkisi

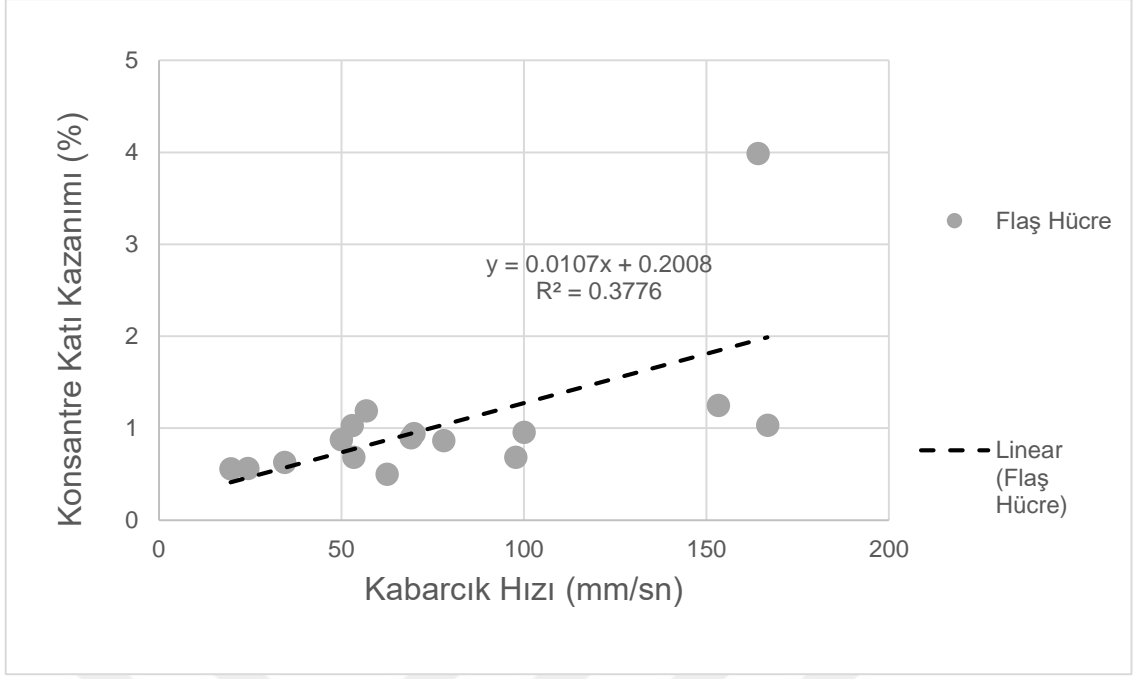
4.3.1. Kabarcık Hızı ve Metalurjik Performans İlişkisi

4.3.1.1. Kabarcık Hızı ve Konsantre Katı Kazanımı ilişkisi

Şekil 4.46'da kabarcık hızı ve konsantre katı kazanımı arasındaki ilişki kaba devre flotasyon hücreleri için verilmiştir. Flaş flotasyon hücresinde konsantre katı kazanımı değerleri kaba flotasyon devresine göre çok daha düşük olduğundan dolayı bu hücre için ilişki Şekil 4.47'de gösterilmiştir. Kaba flotasyon devresinin birinci ve sonuncu hücrelerinde konsantre katı kazanımı ile kabarcık hızının pozitif doğrusal bir ilişki gösterdiği görülmektedir. Flaş hücresinde konsantre katı kazanımının artan kabarcık hızı ile hafif bir artış gösterdiği görülmektedir. Ancak, flaş hücrede elde edilen konsantre katı kazanımı değerleri çok düşük ve dar bir aralıktadır. Bundan dolayı, flaş hücre için konsantre katı kazanımı ile kabarcık hızı arasında belirgin bir ilişki olduğunu söylemek güçtür.



Şekil 4.46 Kabarcık hızı ile konsantre katı kazanımı ilişkisi



Şekil 4.47 Flaş hücrede kabarcık hızı ile konsantre katı kazanımı ilişkisi

Kaba flotasyon devresinin birinci hücresinde elde edilen konsantre katı kazanımı değerlerinin %7,5 ve %23 arasında olduğu görülmektedir. Buna karşın, kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinde bu değerlerin %0,59 gibi çok düşük bir değerden %34,91 gibi çok yüksek bir değere çıkabildiği görülmektedir. Bu bakımdan, kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinde elde edilen konsantre katı kazanımı değerleri diğer hücrelere göre çok geniş bir aralıktadır. Elde edilen konsantre katı kazanımlarının değer aralığının sırasıyla flaş hücre, kaba flotasyon devresinin birinci ve sonuncu hücrelerine doğru artmakta olduğu görülmektedir. Çalışma kapsamında incelenen üç farklı flotasyon hücresinde kabarcık hızı ve konsantre katı kazanımı için doğrusal korelasyon katsayıları Eşitlik 3-6 ile hesaplanmıştır [82]. Çizelge 4.5'te üç farklı hücre için kabarcık hızı ve konsantre katı kazanımları arasındaki doğrusal korelasyon sonuçları verilmiştir.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{s_x s_y (n-1)}$$

Eşitlik 3-6

\bar{x}, \bar{y} veri setlerinin ortalama değerlerini,

s_x, s_y veri setlerinin standart sapma değerlerini,

n veri çifti sayısını temsil etmektedir.

Çizelge 4.5 Kabarcık hızı ile konsantre katı kazanımı arasındaki doğrusal korelasyon değerleri

Doğrusal Korelasyon Katsayısı	Flaş Hücresi	Kaba Flotasyon Devresi Birinci Hücre	Kaba Flotasyon Devresi Sonuncu Hücre
Kabarcık Hızı– Konsantre Katı Kazanımı	0,61	0,76	0,88

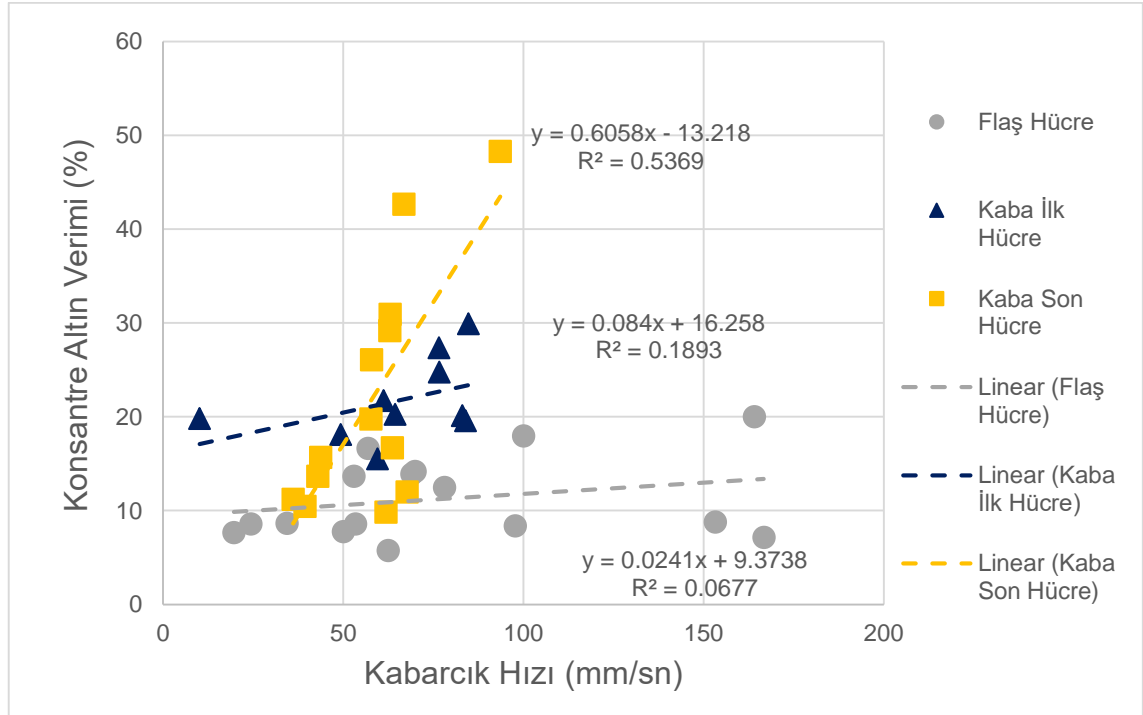
Kabarcık hızı ve konsantre katı kazanımı arasındaki doğrusal korelasyon katsayılarının sırasıyla flaş hücresinden kaba flotasyon devresinin birinci hücresi ve sonuncu hücresine doğru artmış olduğu görülmektedir. Her bir hücre için kabarcık hızı ve konsantre katı kazanımı arasındaki ilişkiyi daha iyi anlayabilmek adına Excel kullanılarak doğrusal regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Her bir hücre için gerçekleştirilen analiz sonuçlarının tamamı ekler kısmında verilmiştir. Çizelge 4.6'da her bir hücre için doğrusal regresyon analizinin sonucu olan R Kare, Ayarlı R Kare, Standart Hata ve Regresyon P-değeri verilmiştir. Buna göre sırasıyla flaş flotasyon hücresinden, kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresine doğru gidildikçe R Kare değerlerinde artış olduğu görülmektedir. Bu durum, kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinde kabarcık hızı ve konsantre katı kazanımı arasındaki ilişkinin diğer hücrelere göre doğrusal regresyon analizi kullanılarak daha iyi açıklanabildiğini göstermektedir. Tüm hücreler için gerçekleştirilen doğrusal regresyon analizi için P-Değerlerinin %95 güven aralığı içerisinde olduğu görülmektedir. Bu durum gerçekleştirilen regresyon analizinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.6 Kabarcık hızı ile konsantre katı kazanımı arasında doğrusal regresyon analizi sonuçları

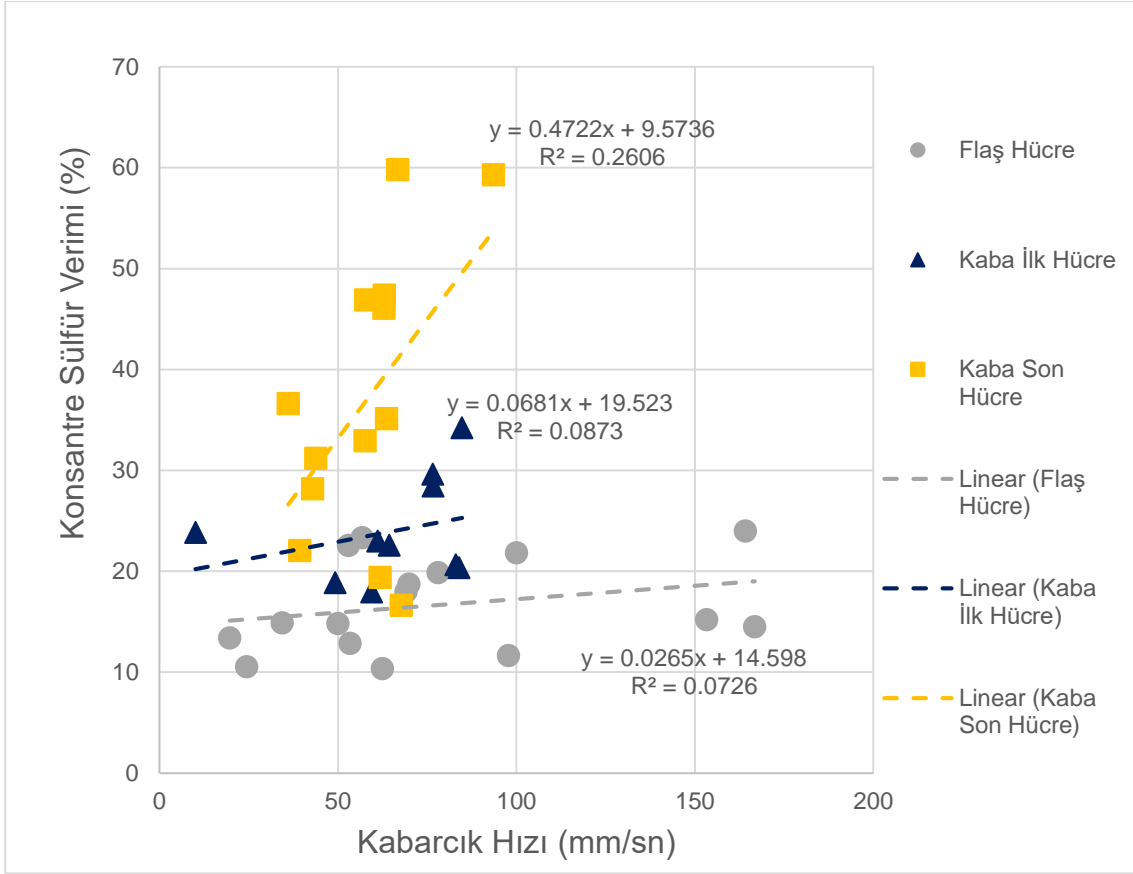
Doğrusal Regresyon Analizi	Flaş Hücresi	Kaba Flotasyon Devresi Birinci Hücre	Kaba Flotasyon Devresi Sonuncu Hücre
R Kare	0,38	0,57	0,78
Ayarlı R Kare	0,33	0,52	0,76
Standart Hata	0,67	3,34	4,89
P-Değeri	1,13E-02	1,11E-02	6,23E-05

4.3.1.2. Kabarcık Hızı ve Altın ve Sulfür Verimi İlişkisi

Kabarcık hızının üç farklı flotasyon hücresinin için konsantre altın verimi ile ilişkisi Şekil 4.48'de, sulfür verimi ile ilişkisi ise Şekil 4.49'da verilmiştir. Her iki elementin konsantre verimlerinin her bir hücre için değişen kabarcık hızı ile benzer olduğu görülmektedir. Kaba flotasyon devresinin birinci ve sonuncu hücrelerinde konsantre altın ve sulfür verimlerinin kabarcık hızının pozitif doğrusal bir ilişki gösterdiği görülmektedir. Flaş hücresinde konsantre altın ve sulfür verimlerinin artan kabarcık hızı ile hafif bir artış gösterdiği görülmektedir



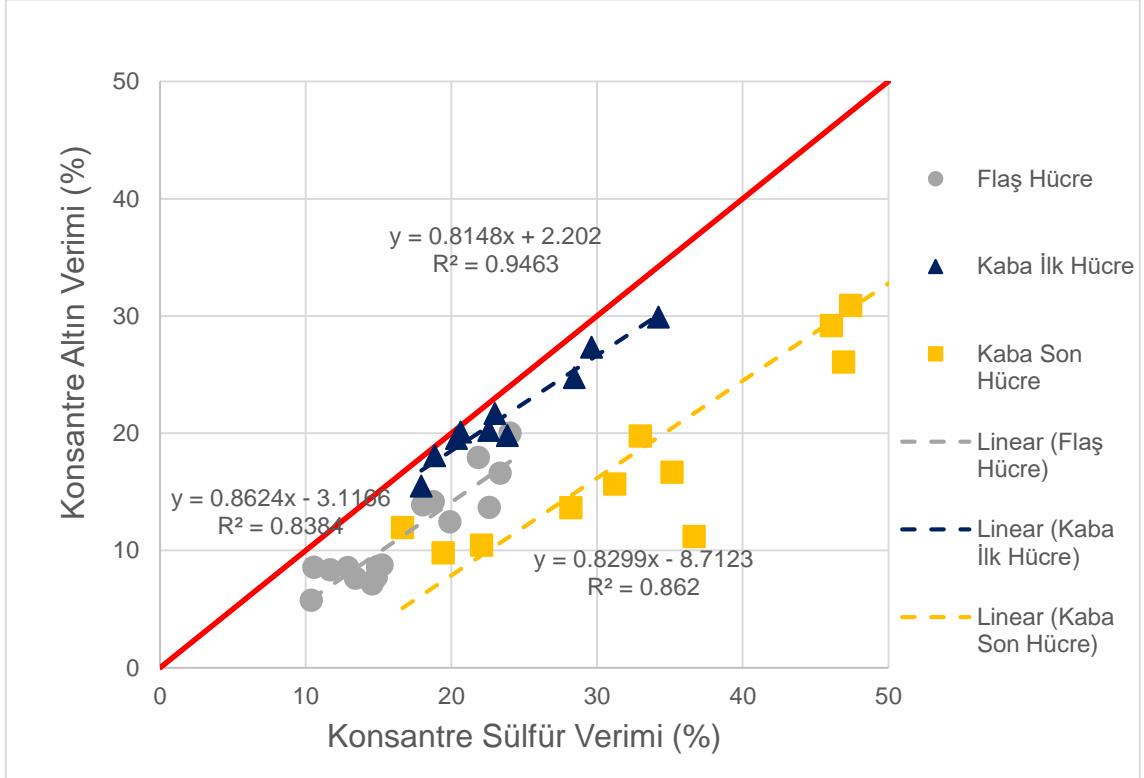
Şekil 4.48 Kabarcık hızı ile konsantre altın verimi ilişkisi



Şekil 4.49 Kabarcık hızı ile konsantre sülfür verimi ilişkisi

Kaba flotasyon devresinin birinci hücresinde elde edilen konsantre altın verimi değerlerinin %29,92 ve %15,50 arasında olduğu görülmektedir. Buna karşın kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinde konsantre altın veriminin %48,30 gibi bir değere çıkabildiği görülmektedir. Kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinde en düşük konsantre altın verimi %9,83 olarak elde edilmiştir. Flaş hücresinde gözlemlenen konsantre altın verimi değerlerinin %20,02 ile %5,77 arasında seyrettiği görülmektedir. Bu bakımdan, flaş hücre ve kaba flotasyon devresinin birinci hücresinde elde edilen konsantre altın verimi aralığının kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinde elde edilen konsantre altın verimi aralığından çok daha dar olduğu görülmektedir. Bu hücrelerin konsantre sülfür verimi değerlerinin flaş hücresi için %24,02 ile %10,36 kaba flotasyon devresinin ilk hücresinde %17,93 ile %34,22 arasında ve kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinde ise %59,82 ile %16,63 arasında olduğu görülmektedir. Bu bakımdan, bu hücrelerde elde edilmiş olan konsantrelerin sülfür verimi değer aralıklarının, konsantre altın verimi değer aralıklarında olduğu gibi davrandığı görülmektedir. Konsantre sülfür verimi değer aralığının flaş hücresi ve kaba flotasyon devresinin

birinci hücrede benzer aralıkta olduğu gözlemlenirken, kaba flotasyon devresinin sonuncu hücrede ise bu aralık çok daha geniştir. Konsantre altın ve sülfür verimlerinin değişen kabarcık hızı ile benzer bir davranış sergiledikleri görülmektedir. Bu durum, tesiste altının sülfür ile ilişkili olduğunu kanıtlamaktadır. Bu iki element için konsantre verimlerinin ilişkisi Şekil 4.50’de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi her bir hücrede konsantre altın ve sülfür verimleri arasında güçlü bir ilişki bulunmaktadır.



Şekil 4.50 Konsantre sülfür verimi ve konsantre altın verimi ilişkisi

Çalışma kapsamında incelenen üç farklı flotasyon hücresinde kabarcık hızının konsantre altın ve sülfür verimleri için doğrusal korelasyon katsayıları Eşitlik 3-6 ile hesaplanmıştır. Çizelge 4.7’de üç farklı hücre için kabarcık hızı ile konsantre altın ve sülfür verimleri arasındaki doğrusal korelasyon sonuçları verilmiştir. Buna göre, kabarcık hızı ile konsantre altın ve sülfür verimi arasındaki doğrusal ilişkinin flaş hücre, kaba flotasyon devresi birinci hücre ve sonuncu hücre sırasıyla arttığı görülmektedir. Genel olarak kabarcık hızı ile konsantre altın ve sülfür verimleri arasındaki doğrusal ilişkinin zayıf olduğu görülmektedir. Kabarcık hızı ile en yüksek doğrusal korelasyon kaba flotasyon devresinin sonuncu hücrede konsantre Altın verimi için elde edilmiştir.

Çizelge 4.7 Kabarcık hızı ile konsantre altın ve sülfür verimleri arasındaki doğrusal korelasyon-değerleri

Doğrusal Korelasyon Katsayısı	Flaş Hücresi	Kaba Flotasyon Devresi Birinci Hücre	Kaba Flotasyon Devresi Sonuncu Hücre
Kabarcık Hızı – Konsantre Altın Verimi	0,26	0,44	0,73
Kabarcık Hızı – Konsantre Sülfür Verimi	0,27	0,30	0,51

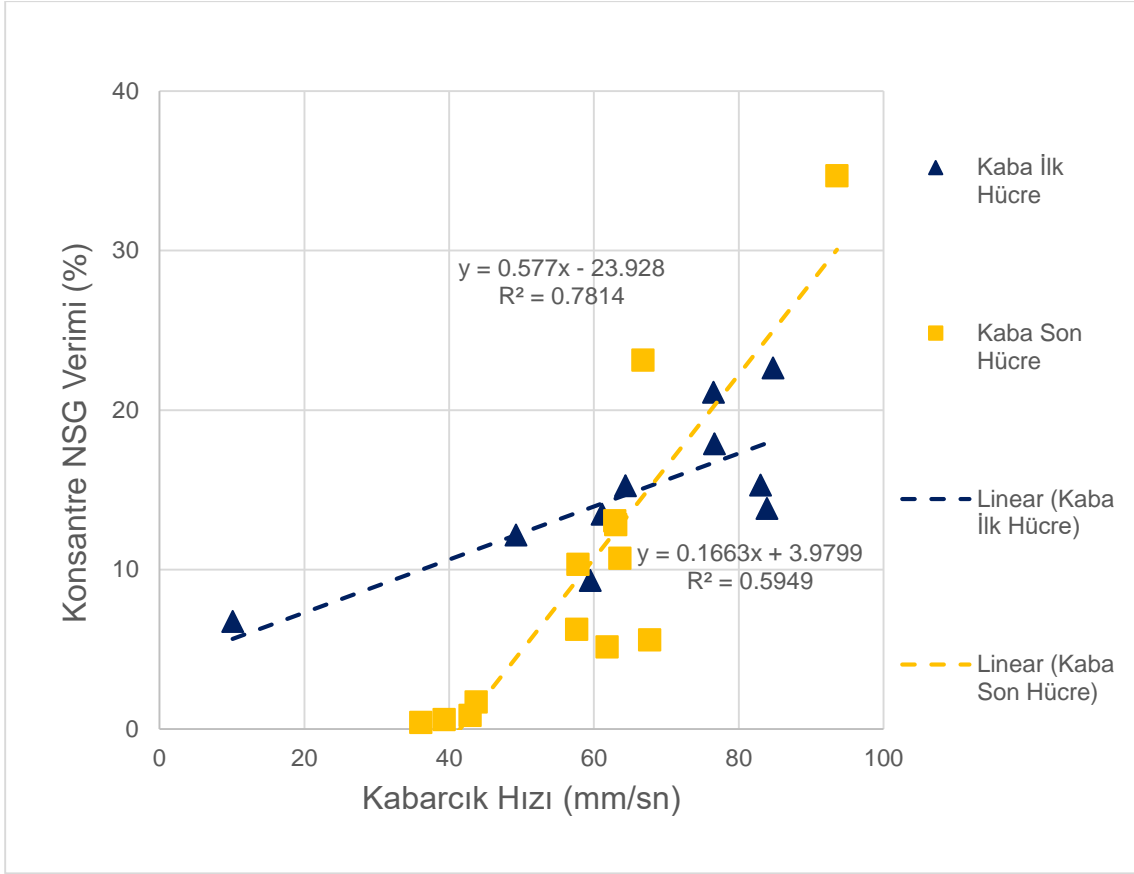
Her bir hücre için kabarcık hızı ve konsantre altın ve sülfür verimleri arasındaki ilişkiyi daha iyi anlayabilmek adına Excel kullanılarak doğrusal regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Her bir hücre için gerçekleştirilen analiz sonuçlarının tamamı ekler kısmında verilmiştir. Çizelge 4.8’de her bir hücre için doğrusal regresyon analizinin sonucu olan R Kare, Ayarlı R Kare, Standart Hata ve Regresyon P-değeri verilmiştir. Buna göre kabarcık hızı ile konsantre Altın verimi arasındaki doğrusal ilişkinin konsantre sülfür verimi ile arasındaki ilişkiden daha güçlü olduğu görülmektedir. Regresyon analizinden elde edilmiş olan R Kare değerlerinin her iki element için de sırasıyla flaş hücre, kaba flotasyon devresi birinci hücre ve sonuncu hücre için giderek arttığı görülmektedir. Ancak, her iki element için de elde edilen R Kare değerlerine göre doğrusal regresyon analizi ile incelenen ilişkinin açıklanabilirliği çok zayıftır. Kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinde kabarcık hızı ve altın verimi için elde edilen P-Değerinin diğer regresyon analizlerinde elde edilen değerlere göre çok daha düşük olduğu görülmektedir. Kaba flotasyon devresindeki kabarcık hızı ile konsantre altın verimi arasındaki ilişkinin %54’ünün istatistiksel olarak %95 güven aralığı altında doğrusal regresyon analizi ile açıklanabildiği görülmektedir. Ancak, bu regresyon modelinin konsantre Altın verimindeki değişimin kabarcık hızı ile sadece yarısından biraz daha fazlasını açıklayabilmesinden dolayı başarılı olduğu söylenememektedir.

Çizelge 4.8 Kabarcık hızı ile konsantre altın ve sülfür verimleri arasında doğrusal regresyon analizi sonuçları

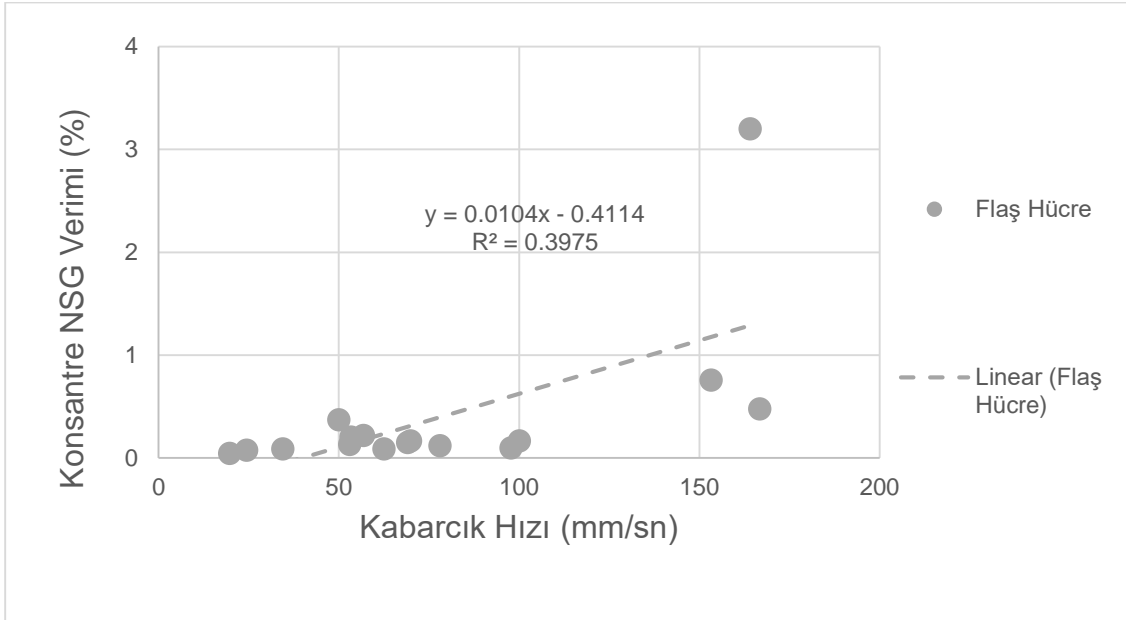
Doğrusal Regresyon Analizi		Flaş Hücre	Kaba Flotasyon Devresi Birinci Hücre	Kaba Flotasyon Devresi Sonuncu Hücre
Kabarcık Hızı -Konsantre Altın Verimi	R Kare	0,07	0,19	0,54
	Ayarlı R Kare	0,00	0,09	0,49
	Standart Hata	4,33	4,19	8,96
	P- Değeri	0,33	0,21	0,004
Kabarcık Hızı-Konsantre Sülfür Verimi	R Kare	0,07	0,09	0,26
	Ayarlı R Kare	0,01	-0,03	0,19
	Standart Hata	4,58	5,30	12,67
	P-Değeri	0,31	0,41	0,07

4.3.1.3.Kabarcık Hızı ve Gang Mineral Verimi İlişkisi

Şekil 4.51’de kabarcık hızı ve konsantre gang mineral verimi arasındaki ilişki kaba devre flotasyon hücreleri için verilmiştir. Flaş flotasyon hücresinde konsantre gang mineral verimi değerleri kaba flotasyon devresine göre çok daha düşük olduğundan dolayı bu hücre için ilişki Şekil 4,52’de gösterilmiştir. Kaba flotasyon devresinin birinci ve sonuncu hücrelerinde konsantre gang mineral verimi ile kabarcık hızının açık bir şekilde pozitif doğrusal bir ilişki gösterdiği görülmektedir. Flaş hücresinde konsantre gang mineral veriminin artan kabarcık hızı ile hafif bir artış gösterdiği görülmektedir. Ancak, flaş hücrede elde edilen konsantre gang mineral verimi değerleri çok düşük ve dar bir aralıktadır. Bundan dolayı, flaş hücre için konsantre gang mineral verimi ile kabarcık hızı arasında belirgin bir ilişki olduğunu söylemek güçtür.



Şekil 4.51 Kabarcık hızı ile konsantr gang mineral verimi ilişkisi



Şekil 4.52 Flaş hücrede kabarcık hızı ile konsantr gang mineral verimi ilişkisi

Kaba flotasyon devresinin birinci hücresinde elde edilen konsantre gang mineral verimi değerlerinin %6,75 ve %22,65 arasında olduğu görülmektedir. Buna karşın, kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinde bu değerlerin %0,43 gibi çok düşük bir değerden %34,71 gibi çok yüksek bir değere çıkabildiği görülmektedir. Bu bakımdan, kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinde elde edilen konsantre gang mineral verimi değerleri diğer hücrelere göre çok geniş bir aralıktadır. Elde edilen konsantre gang mineral verimi değer aralığının sırasıyla flaş hücre, kaba flotasyon devresinin birinci ve sonuncu hücrelerine doğru artmakta olduğu görülmektedir. Çalışma kapsamında incelenen üç farklı flotasyon hücresinde kabarcık hızı ve konsantre gang mineral verimi için doğrusal korelasyon katsayıları Eşitlik 3-6 ile hesaplanmıştır. Çizelge 4.9'da üç farklı hücre için kabarcık hızı ve konsantre gang mineral verimleri arasındaki doğrusal korelasyon sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.9 Kabarcık hızı ile konsantre gang mineral verimleri arasındaki doğrusal korelasyon-değerleri

Doğrusal Korelasyon Katsayısı	Flaş Hücresi	Kaba Flotasyon Devresi Birinci Hücre	Kaba Flotasyon Devresi Sonuncu Hücre
Kabarcık Hızı – Konsantre Gang Mineral Verimi	0,63	0,77	0,88

Kabarcık hızı ve konsantre gang mineral verimi arasındaki doğrusal korelasyon katsayılarının sırasıyla flaş hücresinden kaba flotasyon devresinin birinci hücresi ve sonuncu hücresine doğru artmış olduğu görülmektedir. Her bir hücre için kabarcık hızı ve konsantre gang mineral verimi arasındaki ilişkiyi daha iyi anlayabilmek adına Excel kullanılarak doğrusal regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Her bir hücre için gerçekleştirilen analiz sonuçlarının tamamı ekler kısmında verilmiştir, Çizelge 4.10'da her bir hücre için doğrusal regresyon analizinin sonucu olan R Kare, Ayarlı R Kare, Standart Hata ve Regresyon P-değeri verilmiştir. Buna göre sırasıyla flaş flotasyon hücresinden, kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresine doğru gidildikçe R Kare değerlerinde artış olduğu görülmektedir. Bu durum, kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinde kabarcık hızı ve konsantre gang mineral verimi arasındaki ilişkinin diğer hücrelere

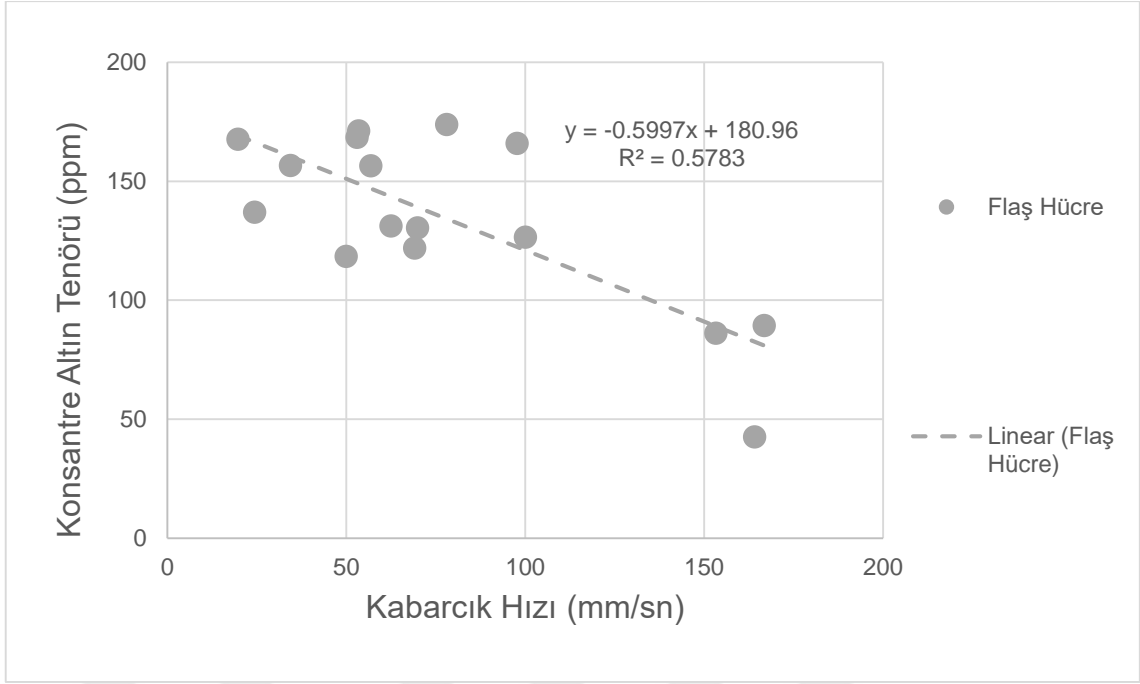
göre doğrusal regresyon analizi kullanılarak daha iyi açıklanabildiğini göstermektedir. Tüm hücreler için gerçekleştirilen doğrusal regresyon analizi için P-Değerlerinin %95 güven aralığı içerisinde olduğu görülmektedir. Bu durum gerçekleştirilen regresyon analizinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.10 Kabarcık hızı ile konsantre gang mineral verimleri arasında doğrusal regresyon analizi sonuçları

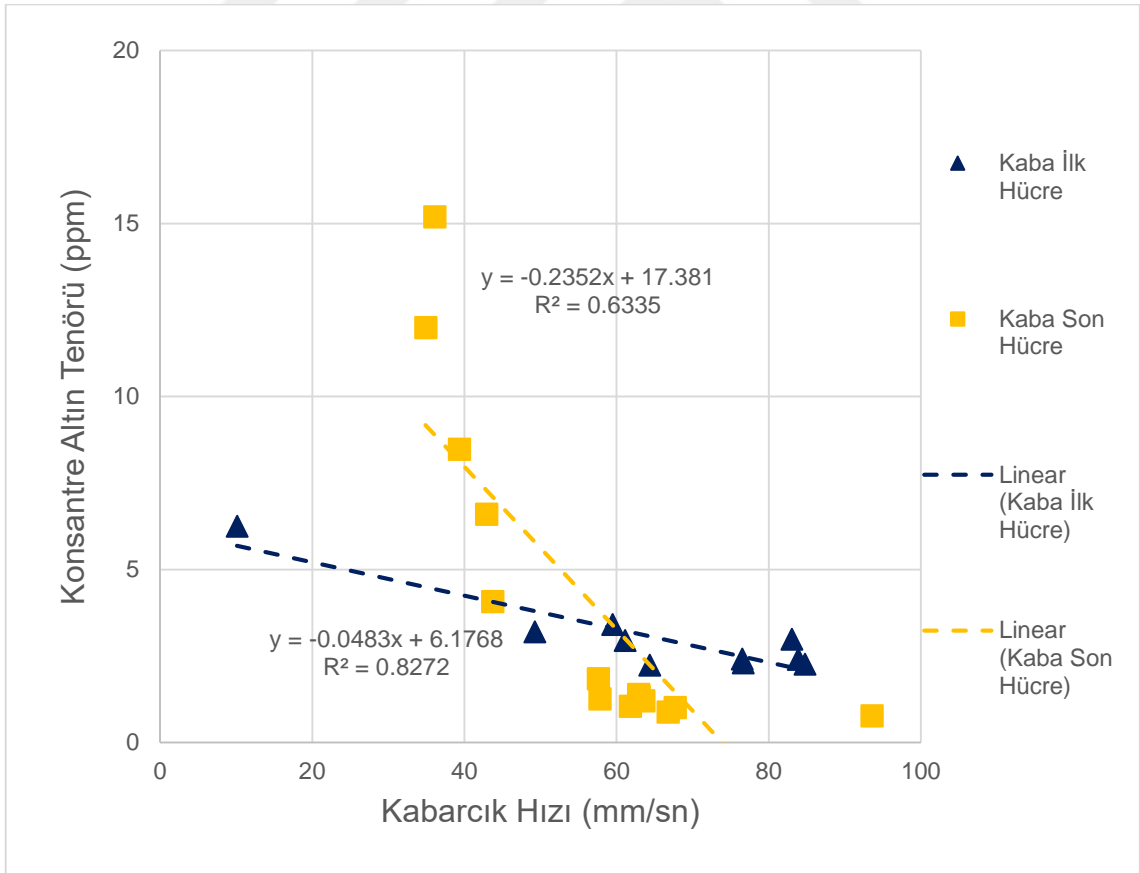
Doğrusal Regresyon Analizi		Flaş Hücresi	Kaba Flotasyon Devresi Birinci Hücre	Kaba Flotasyon Devresi Sonuncu Hücre
Kabarcık Hızı- Konsantre Gang Mineral Verimi	R Kare	0,40	0,59	0,78
	Ayarlı R Kare	0,35	0,54	0,76
	Standart Hata	0,62	3,31	4,86
	P- Değeri	8,84E-03	8,99E-03	6,08E-05

4.3.1.4.Kabarcık Hızı ve Altın ve Sulfür Tenörü İlişkisi

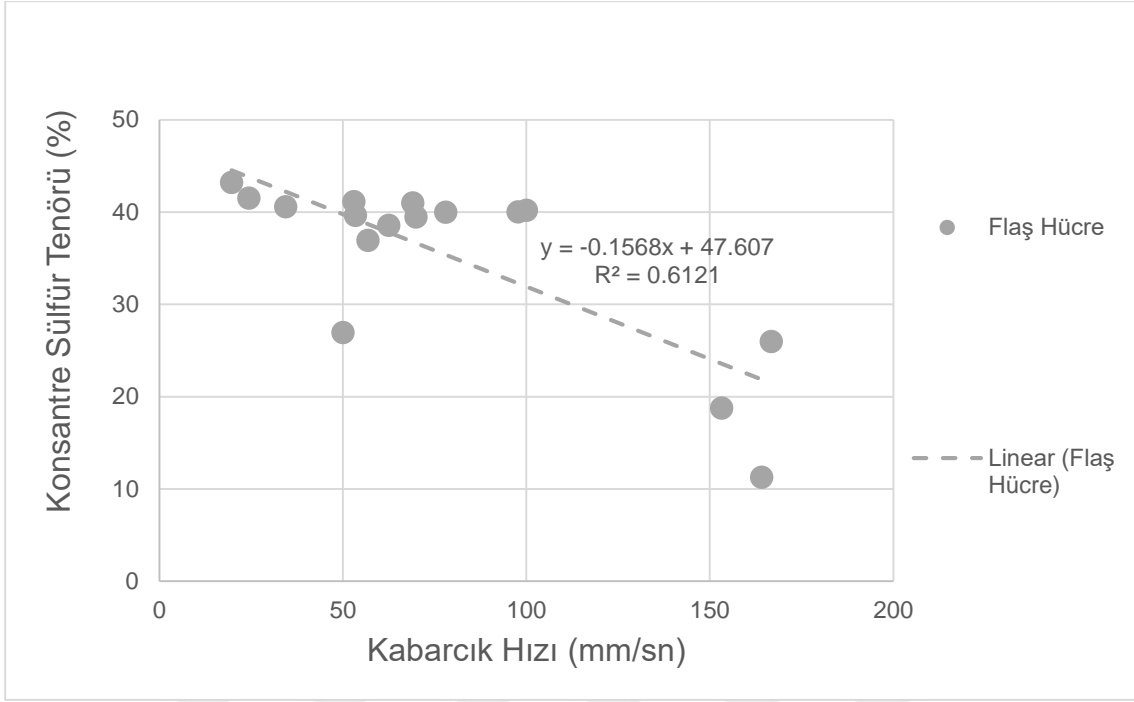
Kabarcık hızının flaş flotasyon hücresi için konsantre altın tenörü ile ilişkisi Şekil 4.53'te, kaba flotasyon devresi hücreleri içinse Şekil 4.54'te verilmiştir. Kabarcık hızının flaş flotasyon hücresi için konsantre sülfür tenörü ile ilişkisi ise Şekil 4.55'te kaba flotasyon devresi hücreleri içinse Şekil 4.56'da verilmiştir. Her iki elementin konsantre tenörlerinin her bir hücre için değişen kabarcık hızı ile benzer davranış sergilemektedir. Her bir hücrede artan kabarcık hızının konsantre altın ve sülfür tenörlerini düşürdüğü görülmektedir. Bu bakımdan her bir hücre için kabarcık hızı ile konsantre altın ve sülfür verimi arasında negatif bir ilişki olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Flaş hücresinde elde edilen konsantre altın ve sülfür tenörlerinin kaba flotasyon devresinin birinci ve sonuncu hücrelerinde elde edilen konsantrelerin altın ve sülfür tenörlerinden oldukça yüksek olduğu görülmektedir.



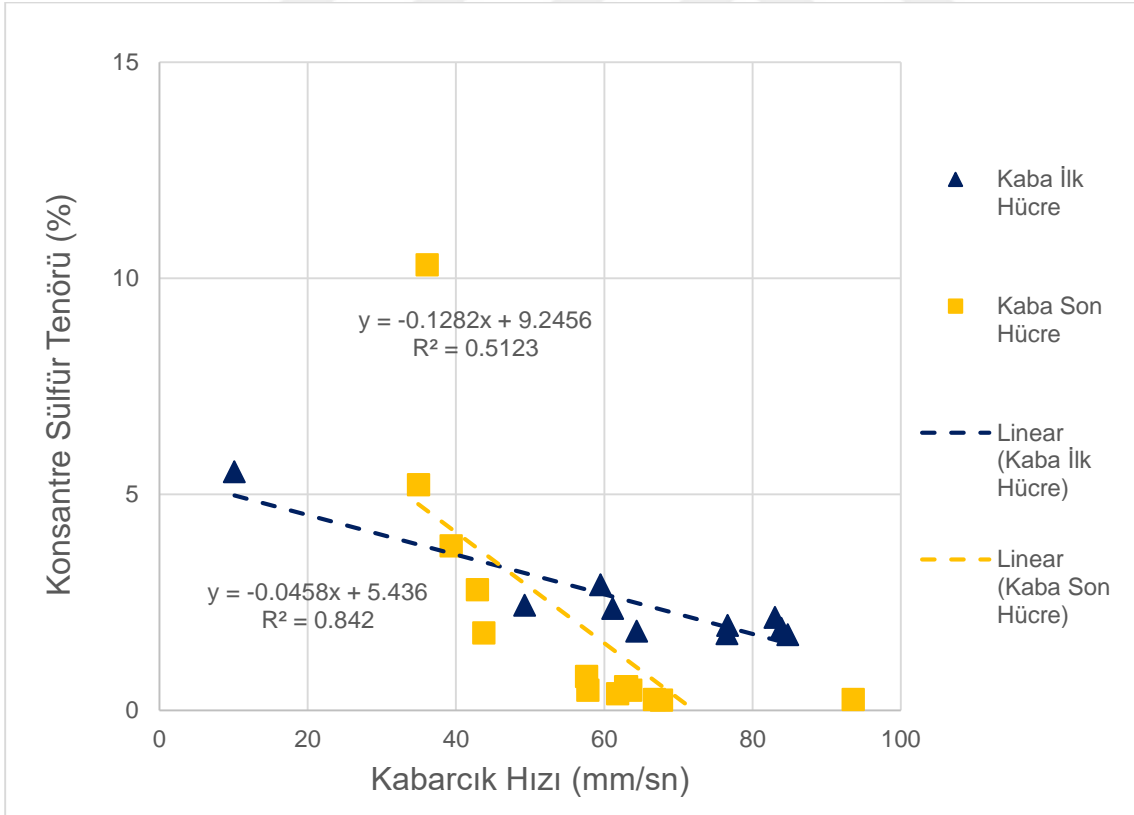
Şekil 4.53 Kabarcık hızı ile konsantre altın tenörü ilişkisi



Şekil 4.54 Kaba flotasyon devresinde kabarcık hızı ile konsantre altın tenörü ilişkisi



Şekil 4.55 Kabarcık hızı ile konsantre sülfür tenörü ilişkisi

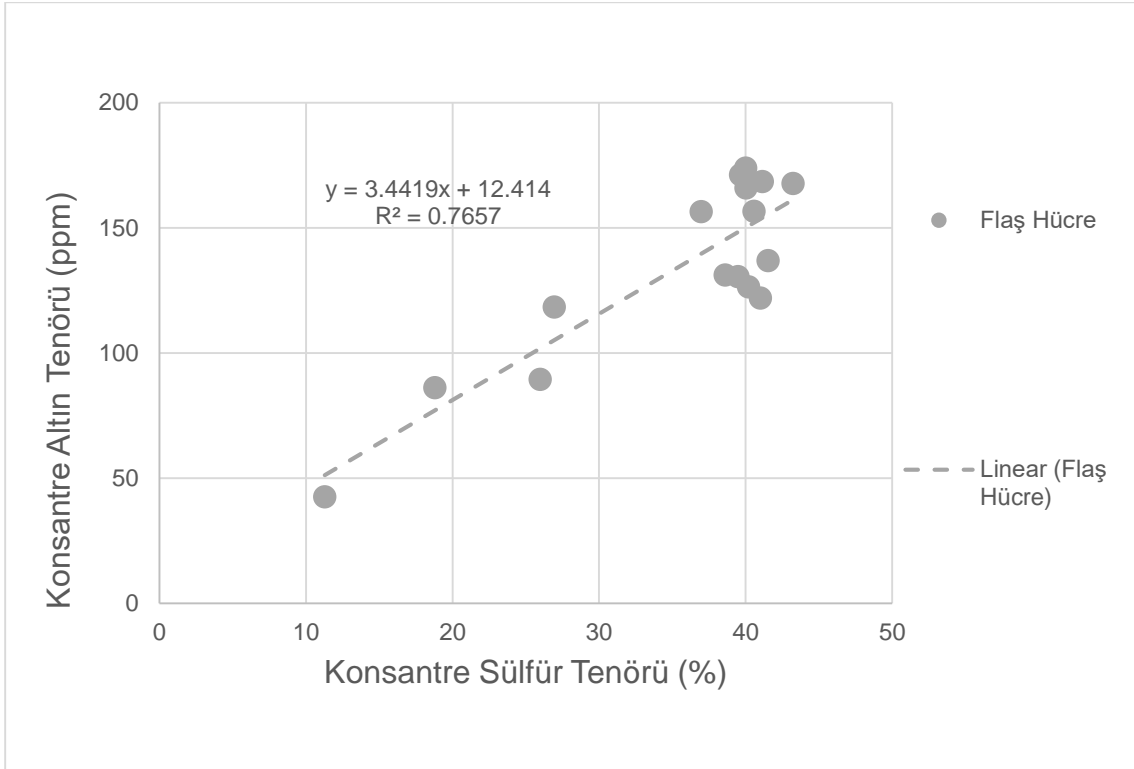


Şekil 4.56 Kaba flotasyon devresinde kabarcık hızı ile konsantre sülfür tenörü ilişkisi

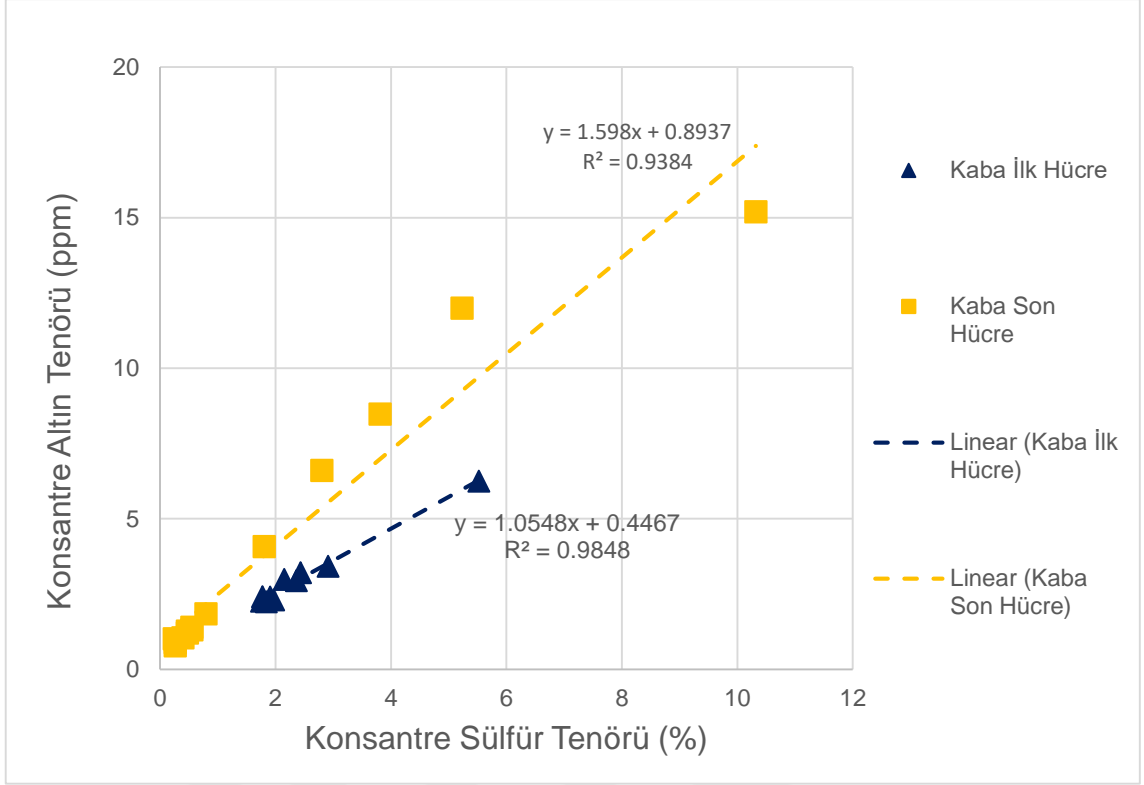
Flaş hücrede elde edilen konsantre Altın tenörü değerlerinin 173,83 ppm ile 42,62 ppm arasında olduğu görülmektedir. Buna karşın kaba flotasyon devresinin birinci ve sonuncu hücrelerinde elde edilen konsantrelerin çok daha düşük Altın tenör içeriği bulunmaktadır. Kaba flotasyon devresinin birinci hücresinde konsantre Altın tenörlerinin 6,25 ppm ile 2,24 ppm değerleri arasında olduğu gözlemlenmektedir. Kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinde ise konsantre Altın tenörü değerleri 15,2 ppm ile 0,78 ppm arasında seyretmektedir. Bu bakımdan, elde edilen konsantre Altın tenör aralığının flaş hücrede en geniş ve kaba flotasyon devresinin birinci hücresinde ise en dar olduğu görülmektedir. Kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinde gözlemlenen konsantre Altın tenörü aralığının kaba flotasyon devresinin birinci hücresine göre daha geniş olduğu görülmektedir. Bu üç hücre için en düşük konsantre Altın tenörünün 0,78 ppm ile kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinden, en yüksek konsantre Altın tenörünün ise 173,83 ppm ile flaş hücrede elde edildiği görülmektedir. Bu hücrelerin konsantre sülfür tenörü değerlerinin flaş hücrede %43,23 ile %11,27, kaba flotasyon devresinin birinci hücresinde %5,52 ile %1,76 ve kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinde ise %10,32 ile %0,24 olduğu görülmektedir. Buna göre, bu üç hücre için en düşük konsantre sülfür tenörünün %0,24 ile kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinden, en yüksek konsantre sülfür tenörünün ise %43,23 ile flaş hücrede elde edildiği görülmektedir. Bu iki element için konsantre tenörlerinin ilişkisi Şekil 4.57'de ve şekil 4.58'de verilmiştir. Grafiklerden de görüldüğü gibi her bir hücrede konsantre Altın ve Sülfür tenörleri arasında güçlü bir ilişki bulunmaktadır. Çalışma kapsamında incelenen üç farklı flotasyon hücresinde kabarcık hızı ile konsantre altın ve sülfür tenörleri için doğrusal korelasyon katsayıları Eşitlik 3-6 ile hesaplanmıştır. Çizelge 4.11'de üç farklı hücre için kabarcık hızı ile konsantre altın ve sülfür tenörleri arasındaki doğrusal korelasyon sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.11 Kabarcık hızı ile konsantre altın ve sülfür tenörleri arasındaki doğrusal korelasyon-değerleri

Doğrusal Korelasyon Katsayısı	Flaş Hücresi	Kaba Flotasyon Devresi Birinci Hücre	Kaba Flotasyon Devresi Sonuncu Hücre
Kabarcık Hızı – Konsantre Altın Tenörü	-0,76	-0,91	-0,80
Kabarcık Hızı – Konsantre Sülfür Tenörü	-0,78	-0,92	-0,72



Şekil 4.57 Konsantre sülfür tenörü ile altın tenörü ilişkisi



Şekil 4.58 Kaba flotasyon devresinde konsantre sülfür tenörü ile altın tenörü ilişkisi

Kabarcık hızı ve konsantre altın ve sülfür tenörleri arasındaki doğrusal korelasyon katsayılarının her bir hücre için yüksek ve negatif değerli olduğu görülmektedir. Her bir hücre için kabarcık hızı ve konsantre altın ve sülfür tenörleri arasındaki ilişkiyi daha iyi anlayabilmek adına Excel kullanılarak doğrusal regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Her bir hücre için gerçekleştirilen analiz sonuçlarının tamamı ekler kısmında verilmiştir. Çizelge 4.12’de her bir hücre için doğrusal regresyon analizinin sonucu olan R Kare, Ayarlı R Kare, Standart Hata ve Regresyon P-değeri verilmiştir. Her iki element için de gerçekleştirilen regresyon analizlerinin P-değerlerinin %95 güven aralığı altında olduğu görülmektedir. Kabarcık hızının hem konsantre altın tenörü hem de konsantre sülfür tenörü için en yüksek korelasyon değerleri (0,83 ve 0,84 R Kare değerleri ile) kaba flotasyon devresinin birinci hücresinde bulunmaktadır. Buna göre, kaba flotasyon devresinin birinci hücresinde sırasıyla konsantre altın ve sülfür tenörlerindeki değişimin %83’ünün ve %84’ünün kabarcık hızı ile %95 güven aralığı altında doğrusal regresyon analizi sonucunda elde edilen model üzerinden açıklanabildiği görülmektedir. Öte yandan flaş hücrede ve kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinde her iki element için R Kare değerlerinin oldukça düşük olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.12 Kabarcık hızı ile konsantre altın ve sülfür tenörleri arasında doğrusal regresyon analizi sonuçları

Doğrusal Regresyon Analizi		Flaş Hücre	Kaba Flotasyon Devresi Birinci Hücre	Kaba Flotasyon Devresi Sonuncu Hücre
Kabarcık Hızı-Konsantre Altın Tenörü	R Kare	0,58	0,83	0,63
	Ayarlı R Kare	0,55	0,81	0,60
	Standart Hata	24,81	0,53	2,96
	P- Değeri	6,27E-04	2,63E-04	6,62E-04
Kabarcık Hızı-Konsantre Sülfür Tenörü	R Kare	0,61	0,84	0,51
	Ayarlı R Kare	0,58	0,82	0,47
	Standart Hata	6,05	0,48	2,07
	P- Değeri	3,41E-04	1,82E-04	3,99E-03

Üç farklı hücre için de kabarcık hızı ile konsantre altın ve sülfür tenör değerleri arasında negatif bir ilişki bulunduğu hem verilerin grafikler üzerindeki dağılımından hem de doğrusal korelasyon katsayılarının yüksek negatif değerler almasından net bir şekilde görülmektedir. Her bir hücrede kabarcık hızı ile konsantre altın ve sülfür tenörleri arasındaki ilişkiyi açıklamak için kullanılan doğrusal regresyon analizinin flaş hücre ve kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresi için yetersiz kaldığı görülmektedir. Bu hücrelere beslenen malzemenin tenör değerleri ve hücrelerin operasyonel olarak kullanım amaçları gibi farklılıklardan kaynaklı olarak doğrusal regresyon analizinin kabarcık hızı ile konsantre altın ve sülfür tenörü arasındaki ilişkilerin açıklanabilmesinde yeterli olmadığı düşünülmektedir.

Flaş hücrede gerçekleştirilen çalışma iki günü kapsamaktadır. Flaş hücre için test 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 ve 11 birinci gün, test 12,13,14,15 ve 16 ise ikinci günde gerçekleştirilmiştir, Her iki gün için flaş hücre besleme akışı medyan bilgileri Çizelge 4.13'te verilmiştir.

Çizelge 4.13 Flaş hücrede gerçekleştirilen testlerin besleme akış bilgileri

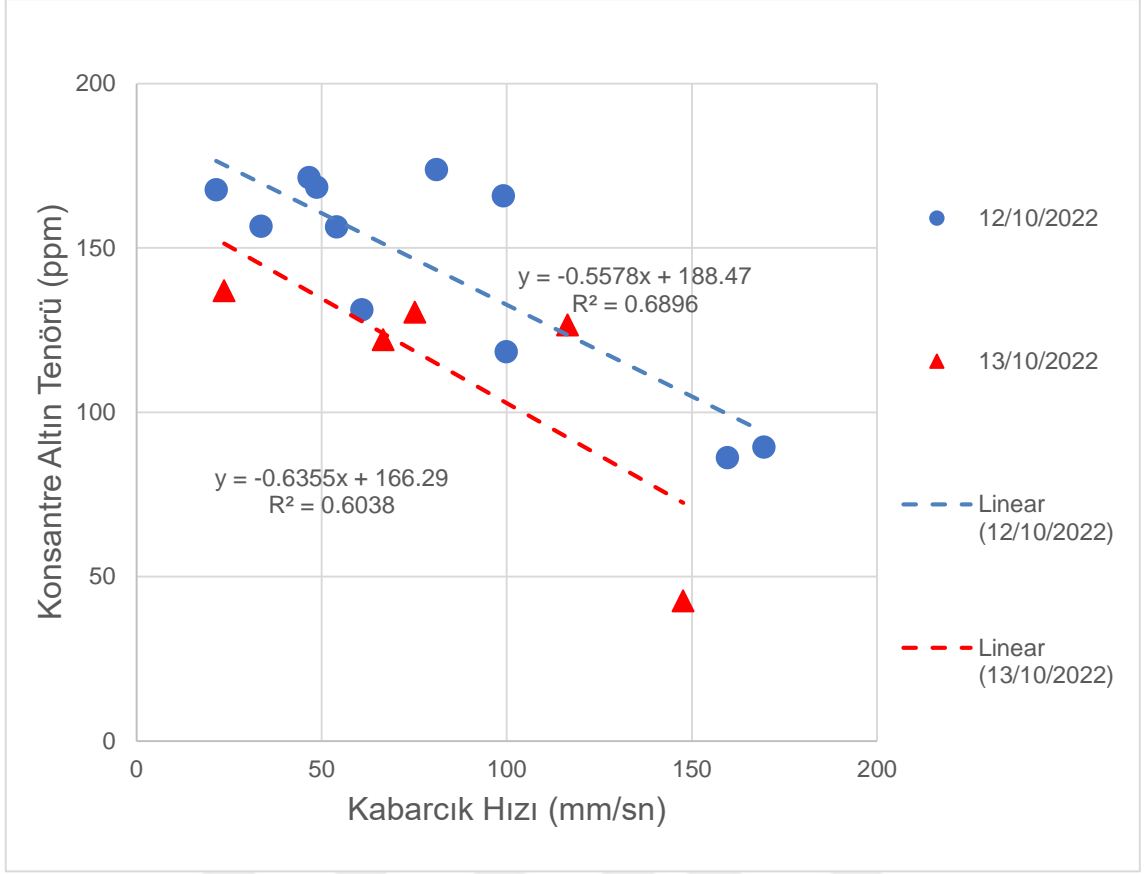
Tarih	Test Numarası	Hacimsel Akış	Altın Tenörü	Sülfür Tenörü	% Katı
		(m ³ /sa)	(ppm)	(%)	(%)
12/10/2022	1	192,81	12,67	1,87	53,47
	2	220,94	13,66	2,01	53,71
	3	186,56	13,97	2,07	56,66
	4	167,19	12,28	1,81	55,29
	5	168,44	12,08	1,90	54,46
	6	167,66	11,43	1,72	55,26
	7	170,94	11,20	1,89	56,10
	8	170,00	11,41	1,87	56,35
	9	184,38	12,90	1,84	58,08
	10	187,97	12,27	1,54	57,74
	11	178,59	13,37	1,59	58,50
13/10/2022	12	181,25	8,97	2,21	56,38
	13	150,47	8,49	1,87	54,58
	14	168,75	6,74	1,76	56,11
	15	163,75	7,87	2,04	57,99
	16	159,06	8,66	1,98	58,49

Çizelge 4.14'te flaş hücre beslemesine ait her bir değişkenin bilgileri verilmiştir. Flaş hücre için çalışmanın gerçekleştirildiği 12/10/2022 ve 13/10/2022 tarihlerinde besleme altın tenörünün ortalama 12,44 ppm değerinden 8,14 ppm değerine düştüğü görülmektedir. Buna karşın, besleme sülfür tenörünün %1,83 değerinden %1,97 değerine artmış olduğu görülmektedir. İki farklı günde besleme altın tenöründe ciddi bir değişim meydana gelirken sülfür tenöründe ciddi bir değişim görülmemektedir.

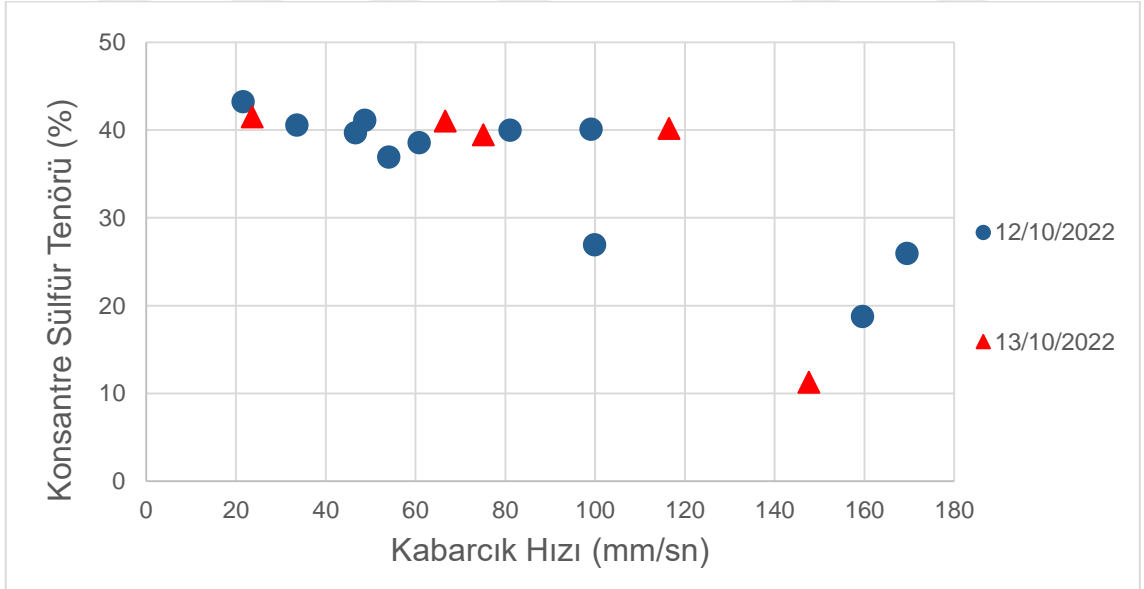
Çizelge 4.14 Flaş hücrede gerçekleştirilen testlerin besleme akış bilgileri

Tarih		Hacimsel Akış	Altın Tenörü	Sülfür Tenörü	% Katı
		(m ³ /sa)	(ppm)	(%)	(%)
12/10/2022	Maksimum	220,94	13,97	2,07	58,50
	Minimum	167,19	11,20	1,54	53,47
	Ortalama	181,41	12,44	1,83	55,97
	Medyan	178,59	12,28	1,87	56,10
	Standart Sapma	16,06	0,99	0,16	1,71
13/10/2022	Maksimum	181,25	8,97	2,21	58,49
	Minimum	150,47	6,74	1,76	54,58
	Ortalama	164,66	8,14	1,97	56,71
	Medyan	163,75	8,49	1,98	56,38
	Standart Sapma	11,46	0,88	0,17	1,57

Şekil 4.53'te flaş hücrede 19,6 mm/sn ile 100 mm/sn kabarcık hızı değerleri arasındaki konsantre altın tenörlerinin 173 ppm ile 118 ppm arasında geniş bir aralıkta bulunduğu görülmektedir. Bu durum, konsantre altın tenörünün belirlenmesinde kabarcık hızından farklı değişkenlerin de söz sahibi olduğunu göstermektedir. Flaş hücrede kabarcık hızı ile konsantre altın tenörü arasındaki ilişki için iki farklı besleme tenörünü temsil eden ve iki farklı güne ait olan testler sınıflandırılarak Şekil 4.59'da verilmiştir. Konsantre altın tenörü ile kabarcık hızı arasındaki ilişkinin ikinci günde gerçekleşen besleme tenöründeki düşüşten etkilendiği net bir şekilde görülmektedir. İki farklı günü temsil eden doğrusal regresyon eğrilerinin birbirleriyle neredeyse paralel olduğu ve 13/10/2022 tarihindeki besleme tenöründe gerçekleşen düşüş ile aynı kabarcık hızında elde edilen konsantre altın tenörünün de düşmüş olduğu görülmektedir. İki farklı tarih için kabarcık hızı ve konsantre sülfür tenörü arasındaki ilişki Şekil 4.60'ta verilmiştir. İki gün için de beslemedeki sülfür tenöründe belirgin bir değişim olmaması da göz önünde bulundurularak besleme sülfür tenöründeki farklılığın konsantre sülfür tenörünü etkilemediği görülmektedir.

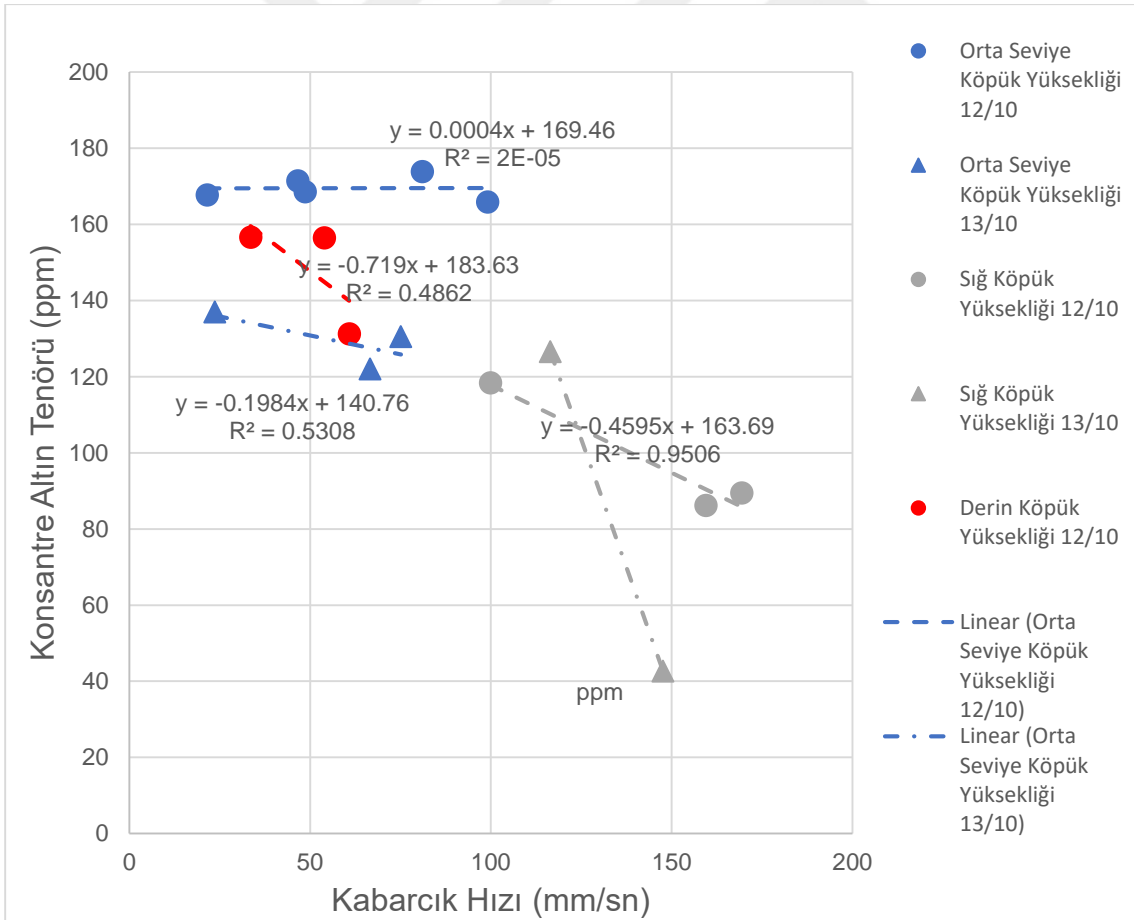


Şekil 4.59 Flaş hücre iki ayrı gün kabarcık hızı ile konsantre altın tenörü ilişkisi



Şekil 4.60 Flaş hücre iki ayrı gün kabarcık hızı ile konsantre sülfür tenörü ilişkisi

Flaş hücrede kabarcık hızı ile konsantrasyon altın tenörü arasındaki ilişkiyi daha net bir şekilde inceleyebilmek adına testler ayarlanmış oldukları köpük yüksekliklerine göre sınıflandırılarak Şekil 4.61’de verilmiştir. 12/10/2022 tarihinde orta seviye köpük yüksekliğinde gerçekleştirilen testlerin kabarcık hızlarının 21 mm/sn ile 99 mm/sn arasında değiştiği ancak bu artışa karşılık konsantrasyon altın tenöründe belirgin bir değişimin gerçekleşmediği görülmektedir. 13/10/2022 tarihinde orta seviye köpük yüksekliğinde gerçekleştirilen testlerin kabarcık hızlarının 23 mm/sn ile 75 mm/sn arasında değiştiği ve 23mm/sn kabarcık hızı değerinde konsantrasyonda 137 ppm altın tenörü elde edilirken 75 mm/sn değerinde ise 130 ppm altın tenörü elde edildiği görülmektedir. Buna göre iki farklı gün için de orta seviye köpük yüksekliğinde gerçekleştirilen testlerden elde edilen konsantrasyonların altın tenörlerinin artan kabarcık hızı ile neredeyse değişmediği ancak 13/10/2022 tarihinde düşen besleme altın tenörünün konsantrasyon tenörünü de düşürmüştüğü açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 4.61 Flaş hücrede köpük seviyesinin ve besleme tenörünün kabarcık hızı üzerinden konsantrasyon altın tenörüne etkisi

Şekil 4.61'de flaş hücrede 12/10/2022 tarihinde sığ köpük yüksekliğinde gerçekleştirilen testlerin yaklaşık olarak 100 mm/sn kabarcık hızı ile 170 mm/sn kabarcık hızı arasında değişmiş olduğu ve bu değişme karşılık olarak konsantre altın tenöründe 118,42 ppm'den 86,20 ppm'e kadar bir düşüş yaşandığı görülmektedir. 13/10/2022 tarihine ait olan sığ köpük yüksekliğine ait testlerin yaklaşık olarak 117 mm/sn ve 148 mm/sn kabarcık hızında gerçekleştirildiği ve bu kabarcık hızı değerlerinde konsantre altın tenörlerinin sırasıyla 126,51 ppm ve 42,62 ppm olarak elde edildiği görülmektedir. 13/10/2022 tarihinde sığ köpük yüksekliğine ait testlerin artan kabarcık hızı ile konsantre altın tenörlerindeki değişiminin 12/10/2022 tarihinde gerçekleştirilen sığ köpük yüksekliğine ait testlerdeki değişime göre daha şiddetli olduğu görülmektedir. Bu durumun orta seviye köpük yüksekliğinde her iki günde gerçekleştirilen testlerin besleme tenörlerindeki değişim sonucunda sergiledikleri davranış ile uyumlu olduğu görülmektedir. Flaş hücrede derin köpük yüksekliğine ait olan testler sadece 12/10/2022 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Genellikle derin köpük yüksekliğinin yüksek tenör ile ilişkili olduğu düşülmesine karşın. Şekil 4.61'de derin köpük yüksekliğine ait testlerden elde edilen konsantre altın tenör değerlerinin aynı gün için orta seviye köpük yüksekliğindeki testlerden elde edilen konsantrelerin altın tenörlerinden biraz daha düşük olduğu görülmektedir. Derin köpük yüksekliği testlerinin gerçekleştirildiği esnada flaş flotasyon hücresinin köpük yüzeyinde mineralize olmuş hava kabarcıklarının patlama oranlarında ciddi bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, derin köpük yüksekliğinde gerçekleştirilen testlerde elde edilen kabarcık boyutlarında artış meydana geldiği köpük kamera sistemi tarafından da tespit edilmiştir (Şekil 4.41 ve Çizelge 4.2) Bu iki olgu derinleşen köpük fazı ile flaş hücrenin köpük stabilitesinde düşüş meydana geldiği sonucunu doğurmuştur. Literatürde, tanelerin çok fazla artan hidrofobikliğin köpük stabilitesine ve flotasyon performansına olumsuz etki ettiğini belirten çalışmalar bulunmaktadır [18] [45]. Dippenaar, yapmış olduğu çalışmada orta ve iri tane boyu aralığındaki çok yüksek hidrofobikliğe sahip olan tanelerin (temas açısı 90° fazla olan) hava kabarcıkları arasında oluşan ince film şeridini yırtarak köpük faz stabilitesini olumsuz etkilediğini göstermiştir [13] [46]. Bir başka çalışmada 66° temas açısına sahip cam tanelerinin. 55° temas açısına sahip cam tanelere göre derin köpük yüksekliklerinde köpük fazı verimlerinin daha düşük olduğunu göstermiştir [22]. Literatürde, tane boyu göz önüne alındığında köpük fazı

verimlerindeki düşüşün en fazla iri tane boyu fraksiyonu için gerçekleşmiş olduğu gösterilmiştir [23] [42]. Literatürdeki bu çalışmalar göz önüne alınarak flaş hücrede flotasyonu gerçekleştirilen malzemenin diğer hücrelerdeki malzemelere kıyasla çok daha hidrofobik ve görece daha iri boyutlu olmasından dolayı derin köpük yüksekliklerinde elde edilen konsantrelerin altın tenörlerindeki düşüşün derinleşen köpük yüksekliğinden kaynaklı olarak düşmüş olan köpük stabilitesi ile bağdaştırılabileceği düşünülmüştür.

Flaş hücre için köpük stabilitesini niceliksel olarak elde edebilmek adına her test için hava verimi değerleri hesaplanmıştır. Hava verimi flotasyon hücresine verilen hacimsel hava miktarının flotasyon hücresinin dudağından patlamadan konsantreye akan hava kabarcıklarının hacimsel oranı olarak tanımlanmıştır [35] [83] [84]. Bu çalışmalarda hava veriminin hesaplanması Eşitlik 3-7 üzerinden yapılmaktadır.

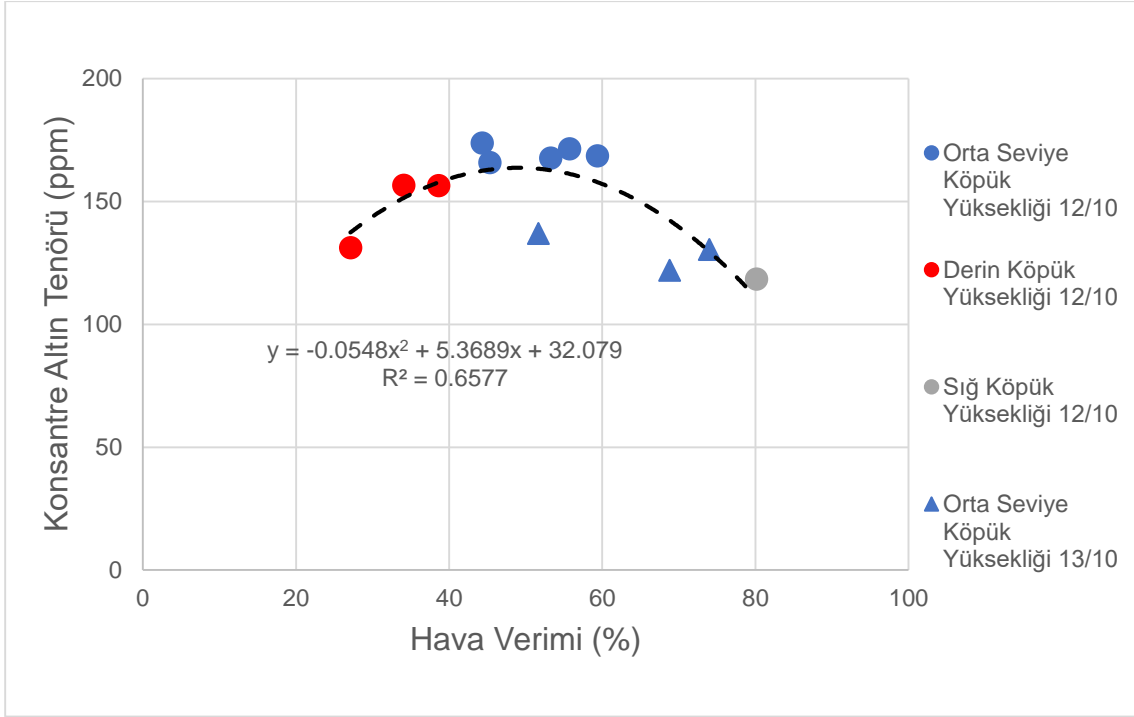
$$\alpha = \frac{v_f \times h_f \times L}{Q_a} \quad \text{Eşitlik 3-7}$$

Bu eşitlikte α hava verimini, v_f hücreden akmaktan olan köpüğün ortalama hızını, h_f hücre dudağıının üzerinden konsantreye akmakta olan köpüğün yüksekliğini, L hücrenin dudak uzunluğunu ve son olarak Q_a ise hücreye sağlanan hava miktarını temsil etmektedir. Flaş hücre için v_f ve h_f değerleri köpük kamera sistemi tarafından ölçülmüştür ve Çizelge 3.34'te verilmiştir. Flaş hücrenin dudak uzunluğu Çizelge 3.11'de verilmiştir. Bu hücreye verilen hacimsel hava akışı ise Çizelge 3.6'da verilmiştir. Çizelge 4.15'te flaş hücrede gerçekleştirilen her bir testin hava verimi değerleri belirtilen veriler ile hesaplanmıştır. Tablodaki sonuçlara göre bazı testlerin hava verimlerinin %100'ün üzerinde olduğu görülmektedir. Bu durum sığ köpük yüksekliğindeki testlerde görülmüştür ve sebebinin yüksek kabarcık hızından kaynaklandığı düşünülmektedir. Hava veriminin %100'ün üzerinde bulunması durumu K. Hadler vd. 2005 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada da belirtilmiştir ve sebebinin hücre yüzeyi boyunca konsantreye alınan kabarcıkların hız değerlerinin farklılık göstermesi olarak belirtilmiştir [35].

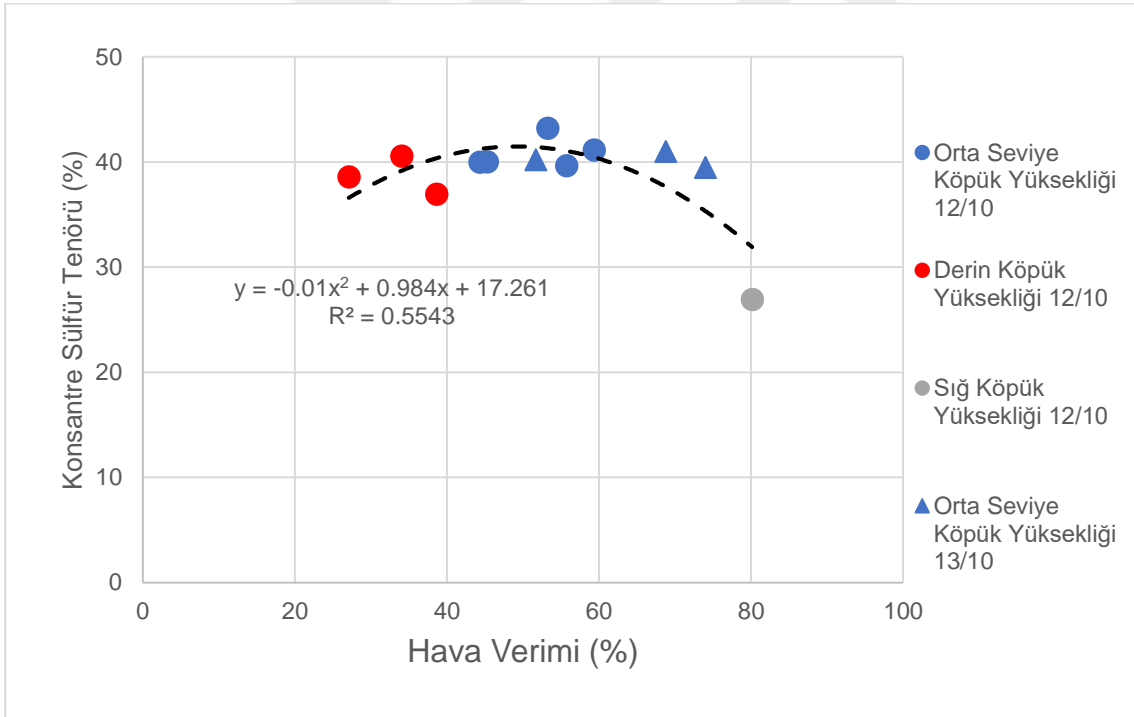
Çizelge 4.15 Flaş hücrede hava verimi değerleri

	Test No	Hava Verimi
		(%)
Orta Seviye Köpük Yüksekliği 12/10	1	59,34
	2	45,31
	3	55,72
	4	53,24
	5	44,31
Derin Köpük Yüksekliği 12/10	6	34,06
	7	38,62
	8	27,11
Sığ Köpük Yüksekliği 12/10	9	135,85
	10	139,72
	11	80,14
Sığ Köpük Yüksekliği 13/10	13	171,76
	14	166,73
Orta Seviye Köpük Yüksekliği 13/10	12	51,68
	15	68,80
	16	74,01

Flaş hücre için gerçekleştirilen testlerin hava verimi değerlerinin derin köpük yüksekliğindeki testler için en düşük olduğu görülmüştür. Bu durum derin köpük yüksekliğinde köpük stabilitesinde düşüş yaşandığı hipotezini desteklemektedir. Şekil 4.62’de flaş hücre için hava verimi ile konsantre altın tenörleri arasındaki ilişki verilmiştir. Buna göre, artan hava veriminin konsantre altın tenörünü önce arttırdığı daha sonra ise düşürmüş olduğu görülmektedir. Ayrıca 13/10/2022 tarihindeki orta seviye köpük yüksekliğinde gerçekleştirilen testlerin besleme altın tenörlerinin bir önceki güne kıyasla daha düşük olmasından kaynaklı olarak konsantre altın tenörlerindeki düşüş de Şekil 4.62’de görülmektedir. Şekil 4.63’te flaş hücre için hava verimi ve konsantre sülfür tenörleri arasındaki ilişki verilmiştir. Konsantre sülfür tenörünün, değişen hava verimi ve köpük yüksekliğinden altın tenörünün etkilendiği kadar etkilenmemiş olduğu görülmektedir.

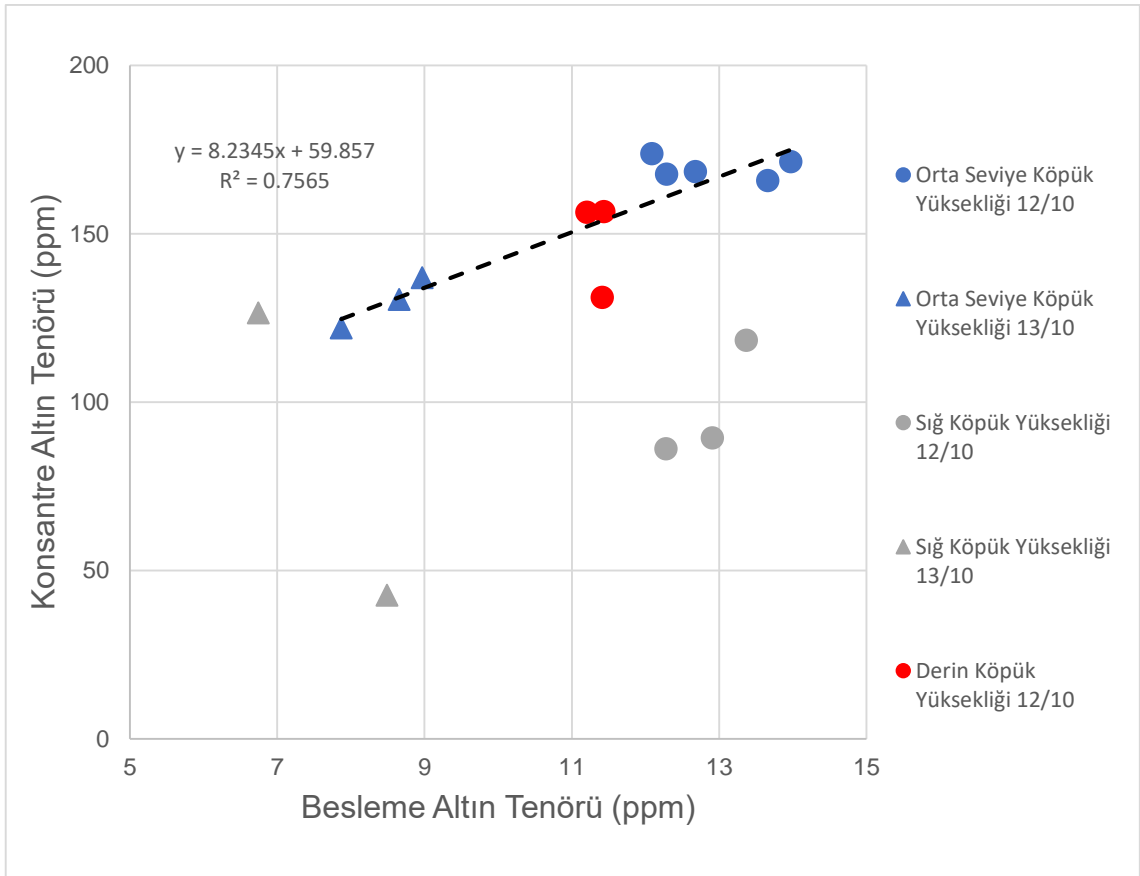


Şekil 4.62 Flaş hücrede hava verimi ve konsantre altın tenörü ilişkisi



Şekil 4.63 Flaş hücrede hava verimi ve konsantre sülfür tenörü ilişkisi

Şekil 4.64'te her iki tarihte flaş hücrede gerçekleştirilen tüm köpük yüksekliklerine ait testlerin konsantre altın tenörleri ile besleme altın tenörleri arasındaki ilişki verilmiştir. Artan besleme tenörü ile konsantre altın tenörünün orta seviye ve derin köpük yüksekliklerine ait testler için doğrusal bir ilişki sergilediği görülmektedir. 12/10/2022 tarihinde orta seviye ve derin köpük yüksekliğindeki testlerin beslemelerinin ortalama altın tenörleri arasında yaklaşık 1,59 ppm fark bulunduğu görülmektedir. Bu bakımdan 12/10/2022 tarihinde derin köpük yüksekliğinde elde edilen konsantrelerin altın tenörlerinin, bu testlerin besleme altın tenör değerlerindeki değişimden etkilenmiş olabileceği de düşünülmektedir.



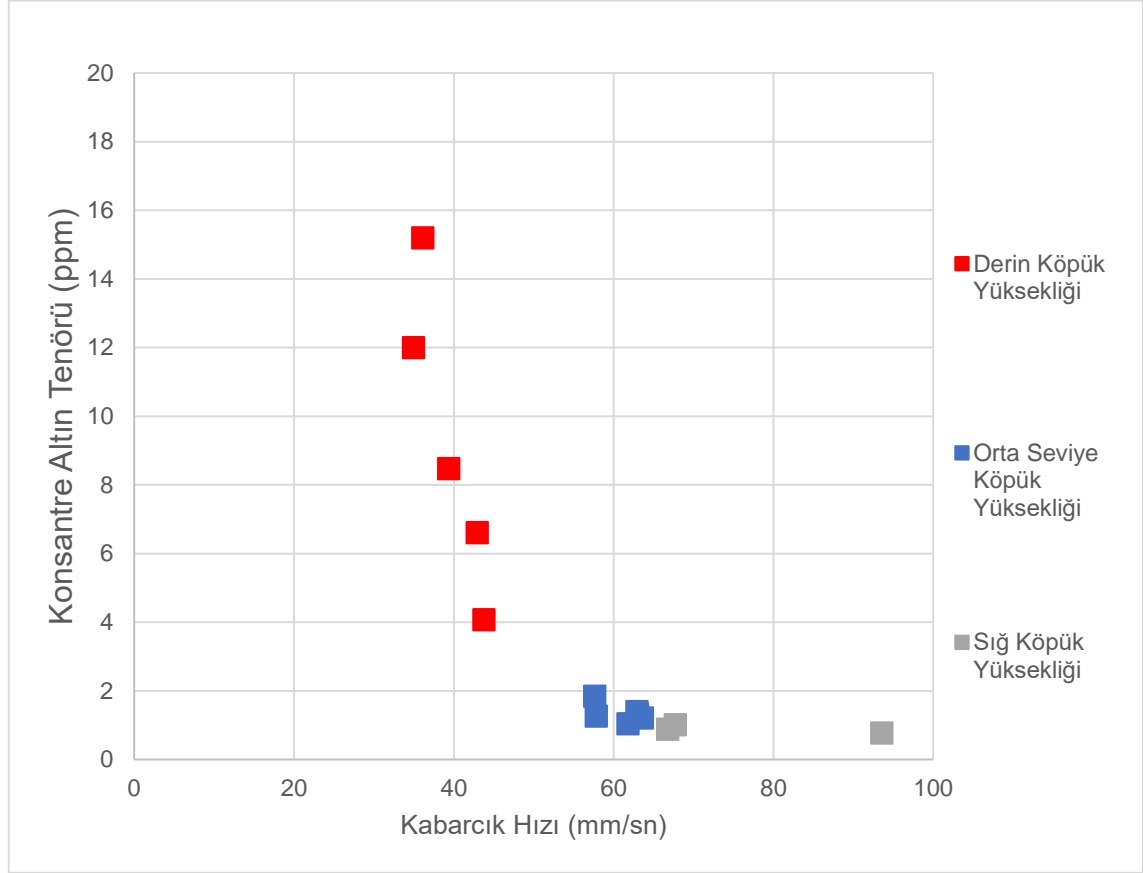
Şekil 4.64 Flaş hücrede besleme altın tenörü ile konsantre altın tenörü ilişkisi

Sonuç olarak flaş hücrede aynı kabarcık hızı aralığında derin köpük yüksekliğindeki testlerin konsantre altın tenörlerinin orta seviye köpük yüksekliğindeki testlerin konsantre altın tenörlerinden daha düşük olmasının sebebi olarak aşağıdaki yorumlar yapılmıştır.

- Derin köpük yüksekliğine ait olan testlerin gerçekleştirildiği esnada görsel olarak köpük stabilitesinde düşüş yaşandığının gözlemlenmesi.
- Köpük kamera sistemi ile elde edilen kabarcık boyu değerlerinin artan köpük derinliği ile artması. Bu durumun düşen köpük stabilitesi ile artan kabarcık birleşmesinin bir göstergesi olarak düşünülmesi.
- Flaş hücrede flotasyonu gerçekleştirilen malzeme çok daha hidrofobik ve görece daha iri tane boyundadır. Artan köpük seviyesi de hesaba katıldığında, malzemenin karakterinden dolayı köpük stabilitesinin ve böylece flotasyon performansın olumsuz etkilenebileceği düşünülmüştür. Literatürde bulunan eski çalışmalar bu durumu desteklemiştir [13] [18] [22] [23] [42] [45] [46].
- En düşük hava verimi değerlerinin derin köpük yüksekliğine ait testlerde elde edilmesi. Hava veriminin konsantre altın tenörünü önce artırırken daha sonrasında ise azaltması.
- Besleme altın tenörü ile konsantre altın tenörleri arasında doğrusal bir ilişki bulunması. Derin köpük yüksekliğindeki testlerin beslemesinin aynı gün için gerçekleştirilen orta seviye köpük yüksekliğine ait olan testlerin beslemelerine göre ortalama 1,59 ppm daha düşük olması.

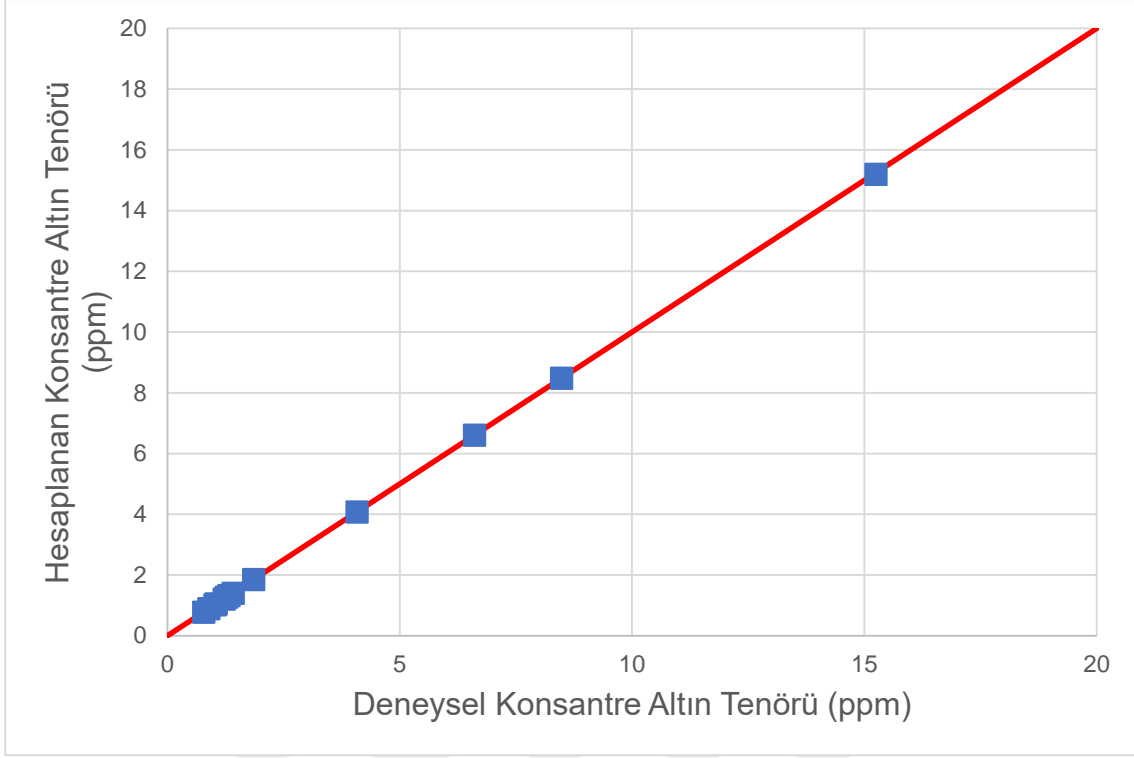
Bu bakımdan flaş hücre için kabarcık hızı ve konsantre altın tenörü arasındaki ilişkinin açık bir şekilde hücreye beslenen malzemenin altın tenöründen ve hücrenin işletildiği köpük yüksekliğinden etkilendiği görülmektedir. Orta seviye köpük yüksekliğinde her iki tarihte de gerçekleştirilen testler için kabarcık hızındaki ciddi değişime karşılık konsantre altın tenörünün neredeyse değişmediği görülmektedir. Sığ köpük yüksekliğindeki testlerde ise kabarcık hızındaki artışın konsantre altın tenörünü ciddi bir şekilde düşürdüğü görülmektedir. Flaş hücre çalışması kapsamında gerçekleştirilen test sayısının az olmasından dolayı kabarcık hızı ve konsantre altın ve sülfür tenörleri arasındaki ilişkinin daha net bir şekilde açıklanabilmesi için daha fazla veriye ihtiyaç duyulmaktadır.

Kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresi için gerçekleştirilen her bir test ait olduğu köpük yüksekliğine göre sınıflandırılarak Şekil 4.65'te verilmiştir.

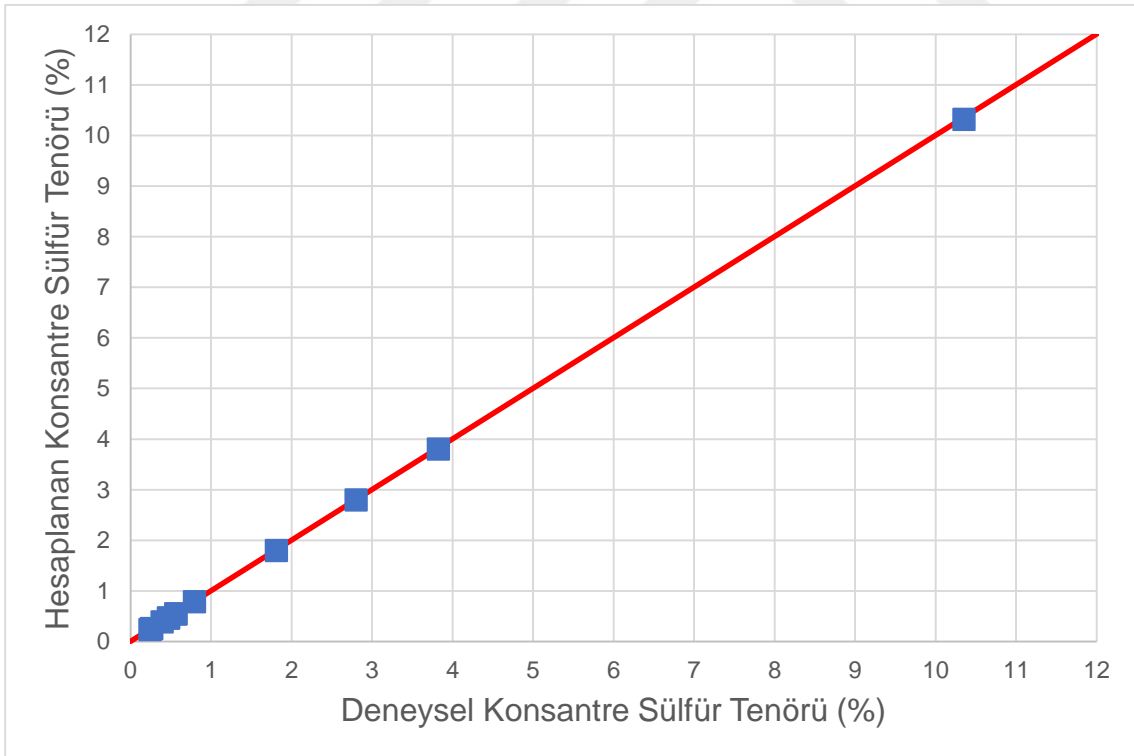


Şekil 4.65 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücrede kabarcık hızı ile konsantre altın tenörü ilişkisi

Bu hücrede gerçekleştirilen numune alma çalışmaları kapsamında elde edilen konsantrelerin altın ve sülfür tenörü değerlerinin kütle denklik sonrasında elde edilen konsantre altın ve sülfür tenörü değerleri ile uyumlu olduğu açık bir şekilde Şekil 4.66 ve Şekil 4.67'de görülmektedir. Bu bakımdan, kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinde konsantre alım süresi bilinmeyen Test 12'nin de kabarcık hızı ve konsantre altın tenörü eğrisine veri olarak dahil edilebileceği sonucu çıkarılmıştır. Bu testin kabarcık hızı ve konsantre altın tenörünün açıklandığı veri setine dahil edildiği durumda hem kendi köpük yüksekliği sınıfına ait diğer testler ile hem de eğrinin genel davranışı ile uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 4.66 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücrede deneysel ve kütle denklik sonrası hesaplanan konsantre altın tenörlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.67 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücrede deneysel ve kütle denklik sonrası hesaplanan konsantre sülfür tenörlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.65'te gösterildiği üzere, kaba flotasyon devresinin sonuncu hücrelerinde en yüksek konsantrasyon altın tenörü değerleri derin köpük yüksekliği sınıfına ait testlerde elde edilmiştir. Genel olarak köpük yüksekliğinin azalmasıyla konsantrasyon altın tenörü değerlerinde düşüş yaşandığı görülmektedir. Veri setinin grafik üzerindeki dağılımı göz önünde bulundurulduğunda, kabarcık hızının en düşük olarak 34,9 mm/sn medyan değeri ile gözlemlendiği görülmektedir. Derin köpük yüksekliğine ait testlerin kabarcık hızlarındaki ufak değişime karşılık konsantrasyon altın tenörü değerlerindeki keskin düşüş göz önüne alındığında bu hücre için konsantrasyonun hücre duvarından akabileceği en düşük kabarcık hızı değerinin derin köpük yüksekliğinde yaklaşık olarak 34,9 mm/sn civarında olduğu düşünülmektedir. Derin köpük yüksekliğindeki düşen kütle kazanımı değerleri de bu olguyu desteklemektedir. Düşük kabarcık hızı değerlerinde hücre yüzeyinden konsantrasyonun akan hava kabarcıklarının hücrede geçirecekleri süre artacağından dolayı patlama sıklıklarının da artacağı düşünülmüştür. Böylece düşük kabarcık hızı değerlerinde mineralize olmuş olan hava kabarcıklarının konsantrasyonun alınmadan patlayarak geri palpa döndüğü fikri ortaya çıkmıştır. Bu hücre için konsantrasyonun akışının sağlanabileceği bir minimum kabarcık hızı limitinin bulunmasının nedenin hücre belemesinin yetersiz hidrofobikliğinden dolayı yetersiz köpük stabilitesi olduğu düşünülmüştür. Kaba flotasyon devresinin sonuncu hücrelerinde gerçekleştirilen tüm testlerde köpük yüzeyde meydana gelen patlama miktarının sıklığı ve hava kabarcıklarının yeterince mineralize olamamış oldukları göze çarpmıştır. Ayrıca, düşen köpük stabilitesinin bir göstergesi olarak bu hücrede elde edilen kabarcık boyu dağılımının en iri olduğu Şekil 4.39'da görülmektedir. Genel olarak bu hücrede beslemedeki hidrofobik malzeme miktarının çok az olmasından dolayı hava kabarcıklarının yeterince mineralize olamadıkları ve böylece yüzeydeki köpük stabilitesindeki düşüşün performansı etkileyen en önemli problem olduğu görülmektedir.

Kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinde kabarcık hızı ve konsantre altın tenörü arasındaki ilişki veri setinin bütünlüğü ve genel davranışı dolayısıyla azalan üstel eğri ile açıklanmıştır. Kabarcık hızı ile konsantre altın tenörü arasındaki ilişki Excel'in Solver aracı kullanılarak $KAT = a \times e^{(-b \times KH)}$ fonksiyonuna oturtulmuştur. Buna göre, KAT Konsantre altın tenörü (ppm) değerini, KH ise kabarcık hızı (mm/sn) değerini temsil etmektedir, a ve b değerleri oluşturulan fonksiyon için sabit sayılardır. Solver aracılığıyla elde edilen fonksiyonun tamamı Eşitlik 3-8'de verilmiştir.

$$KAT = 418,87 \times e^{(-0,098 \times KH)} \quad \text{Eşitlik 3-8}$$

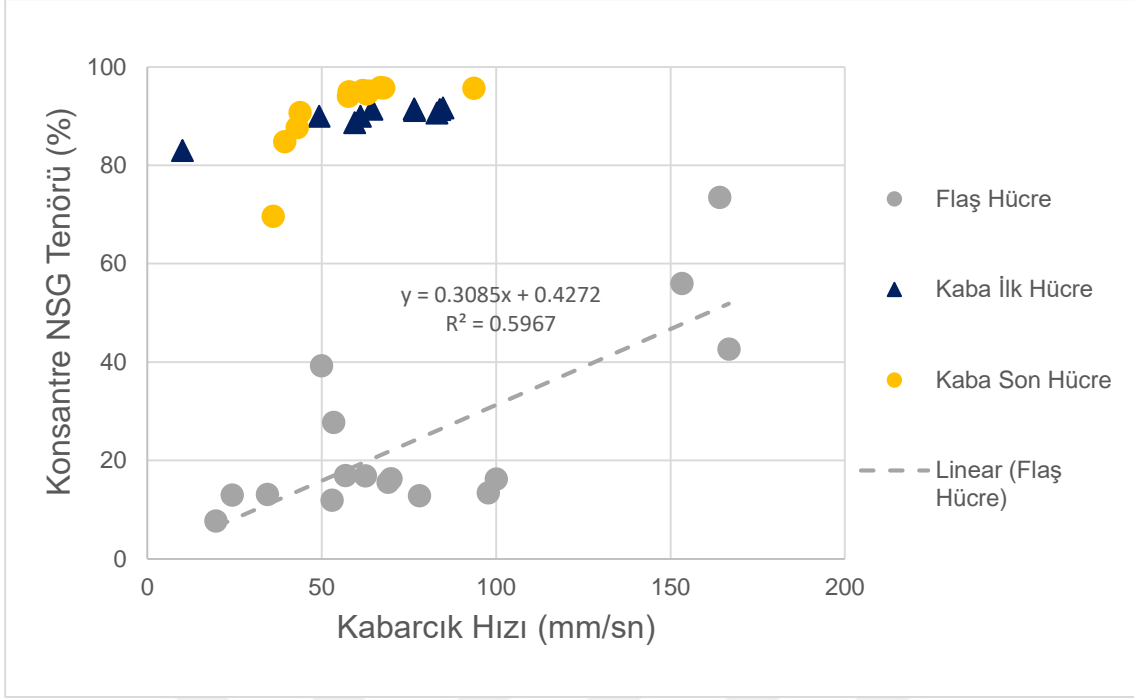
Elde edilen denklem ile gerçekleştirilen regresyon analizinin sonuçlarının tamamı ekler kısmında verilmiştir. Çizelge 4.16'da regresyon analizinin sonucu olan R Kare, Ayarlı R Kare, Standart Hata ve Regresyon P-değeri verilmiştir. Gerçekleştirilen regresyon analizinin P-değerlerinin %95 güven aralığı altında olduğu görülmektedir. Buna göre, kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresindeki konsantre altın tenörü değerindeki değişimin %95'inin, %95 güven aralığı altında kabarcık hızı üzerinden açıklanabildiği görülmektedir

Çizelge 4.16 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücrede kabarcık hızı ile konsantre altın tenörü arasında regresyon analizi sonucu

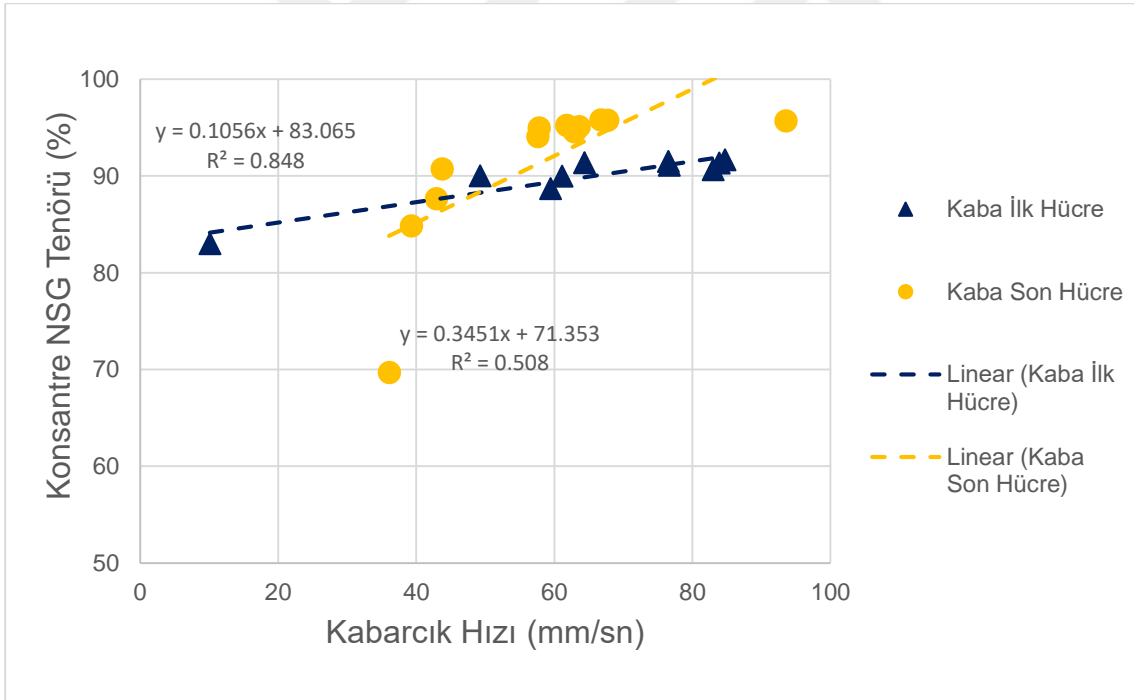
Azalan Üstel Regresyon Analizi		Kaba Flotasyon Devresi Sonuncu Hücre
$KAT = 418,87 \times e^{(-0,098 \times KH)}$		
Kabarcık Hızı-Konsantre Altın Tenörü	R Kare	0,95
	Ayarlı R Kare	0,94
	Standart Hata	1,18
	P- Değeri	1,34E-09

4.3.1.5.Kabarcık Hızı ile Gang Mineral Tenörü İlişkisi

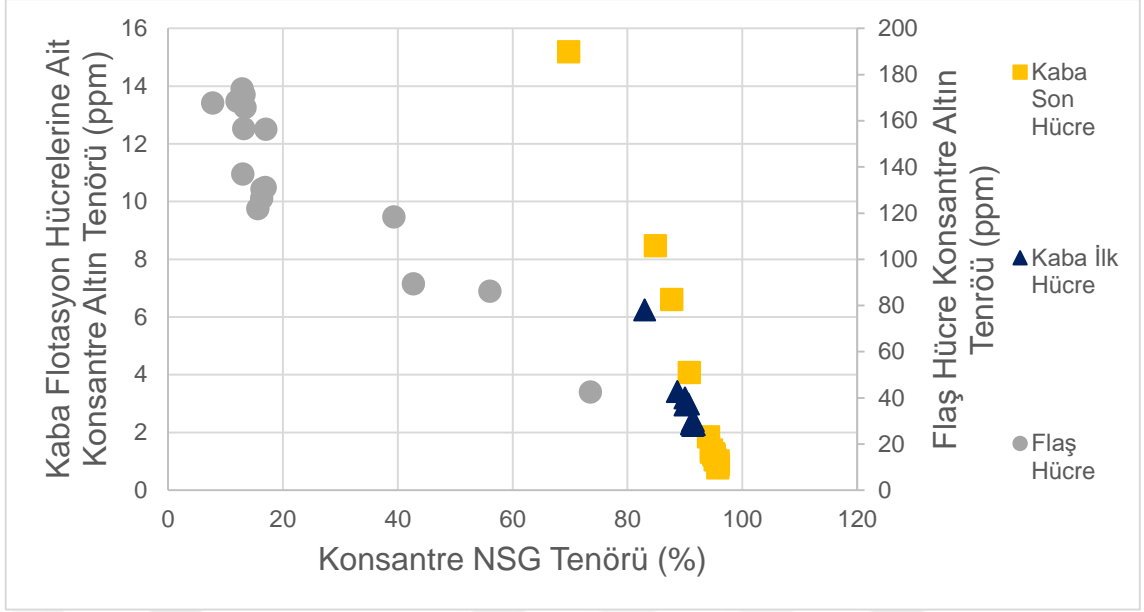
Kabarcık hızının üç farklı flotasyon hücresi için konsantre gang mineral tenörü ile ilişkisi Şekil 4.68'de verilmiştir. Kabarcık hızındaki artışın üç farklı flotasyon hücresi için de konsantre gang mineral tenör değerlerini arttırdığı görülmektedir. Elde edilen konsantrelerde en düşük gang mineral tenör değerleri flaş hücrede elde edilmiştir. Flaş hücreden elde edilen konsantrelerin gang mineral tenör değerlerinin %7,73 ile %73,51 arasında değiştiği görülmektedir. Kaba flotasyon devresinin birinci hücresinden elde edilen konsantre gang mineral tenör değerleri %82,98 ile %91,65 arasında, kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinde ise bu değerlerin %69.69 ile %95.79 arasında değiştiği görülmektedir. Bu bakımdan, üç farklı flotasyon hücresi içinde konsantre gang mineral tenör değeri aralığının en geniş olarak flaş hücre için olduğu görülmektedir. Şekil 4.69'da kabarcık hızı ve gang mineral tenörü ilişkisi sadece kaba flotasyon devresine ait olan hücreler için verilmiştir. Kaba flotasyon devresinin birinci hücresinde kabarcık hızı ile konsantre Gang Mineral tenörü arasında doğrusal bir ilişki bulunduğu açık bir şekilde görülmektedir. Kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinde ise artan kabarcık hızının elde edilen konsantrelerin gang mineral tenör değerlerini önce hızlı bir şekilde sonra da yavaşlayarak arttırdığı görülmektedir. Bu bakımdan, kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinde kabarcık hızı ile konsantre gang mineral tenör ilişkisinin aynı hücredeki kabarcık hızı ile konsantre altın ve sülfür tenörleri arasındaki ilişkinin x eksenine göre simetriği şeklinde davrandığı görülmektedir. Her bir hücreden elde edilen konsantrelerin altın ve gang mineral tenörleri arasında doğrusal ters ilişki bulunduğu Şekil 4.70'te gösterilmiştir. Altın ve konsantre gang mineral tenörü değerleri arasındaki bu doğrusal ilişki göz önüne alındığında, bu iki elementin kabarcık hızı ile olan ilişkilerinin birbirlerine göre simetrik olmasının anlamlı olduğu görülmektedir.



Şekil 4.68 Kabarcık hızı ile konsantre gang mineral tenörü ilişkisi



Şekil 4.69 Kaba flotasyon devresinde kabarcık hızı ile konsantre gang mineral tenörü ilişkisi



Şekil 4.70 Konsantre gang mineral tenörü ile konsantre altın tenörü arasındaki ilişki

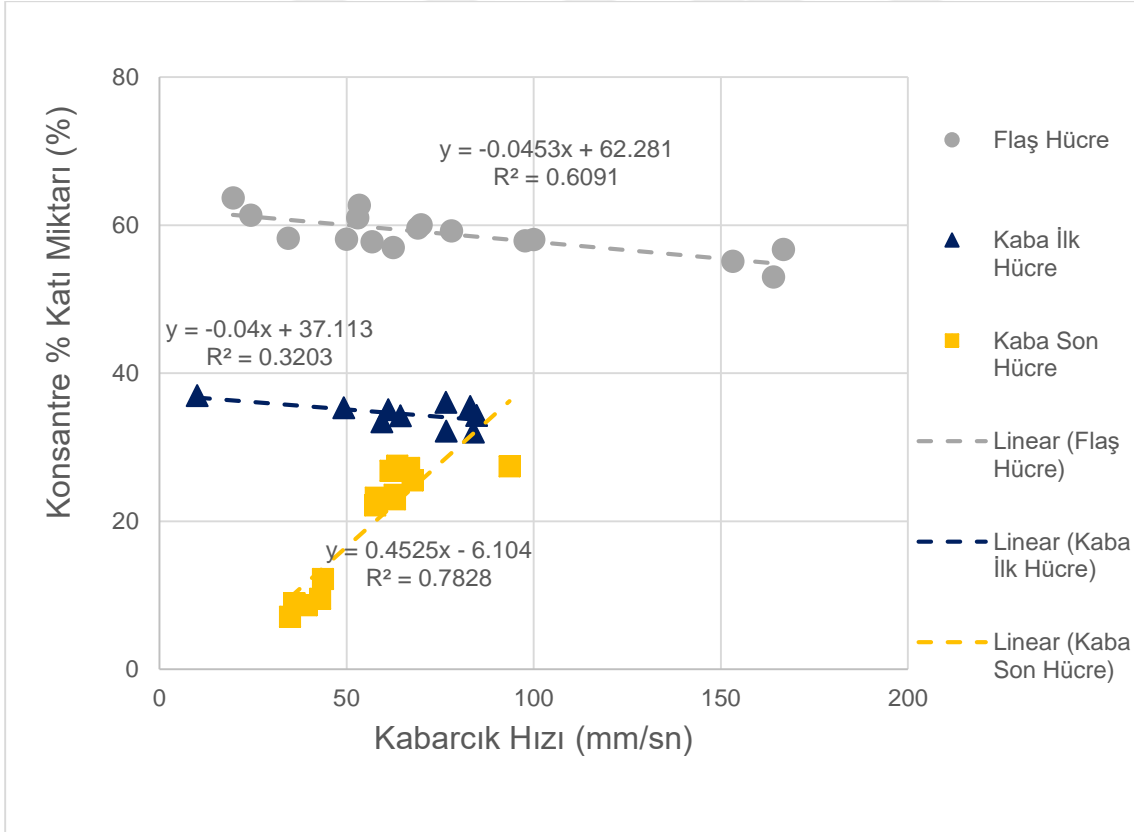
Çalışma kapsamında incelenen üç farklı flotasyon hücresinde kabarcık hızının konsantre Gang Mineral tenörleri için doğrusal korelasyon katsayıları Eşitlik 3-6 ile hesaplanmıştır. Çizelge 4.17’de üç farklı hücre için kabarcık hızı ile konsantre Gang Mineral tenör değerleri arasındaki doğrusal korelasyon sonuçları verilmiştir. En yüksek doğrusal korelasyon katsayısının kaba flotasyon devresine ait birinci hücrede, en düşük olarak ise aynı devreye ait sonuncu hücreden elde edildiği görülmektedir

Çizelge 4.17 Kabarcık hızı ile konsantre gang mineral tenörü arasındaki doğrusal korelasyon-değerleri

Doğrusal Korelasyon Katsayısı	Flaş Hücresi	Kaba Flotasyon Devresi Birinci Hücre	Kaba Flotasyon Devresi Sonuncu Hücre
Kabarcık Hızı – Konsantre NSG Tenörü	0.77	0.92	0.71

4.3.1.6. Kabarcık Hızı ile Konsantre % Katı Miktarı İlişkisi

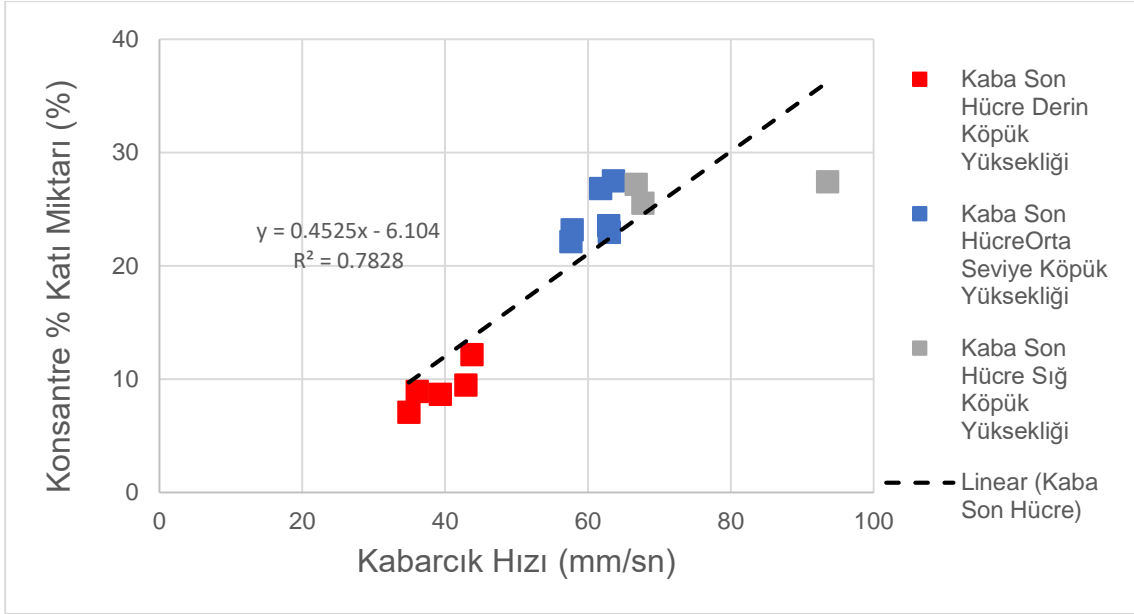
Kabarcık hızının üç farklı flotasyon hücresi için konsantre % katı değeri ile ilişkisi Şekil 4.71'de verilmiştir. Flaş hücrede en yüksek konsantre % katı değerleri elde edilirken, en düşük konsantre % katı değerleri kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinde elde edilmektedir. Flaş hücrede kabarcık hızındaki artışın konsantre % katı değerini düşürdüğü ve bu hücrede gerçekleştirilen testler kapsamında konsantre % katı değerlerinin %63,71 ile %53,02 arasında değiştiği görülmektedir. Kaba flotasyon devresinin birinci hücresinde, flaş hücrede gözlemlendiği gibi artan kabarcık hızını konsantre % katı değerini düşürdüğü görülmektedir. Bu hücreden elde edilen konsantrelerin % katı değerlerinin %36,97 ile %32,03 arasında değiştiği görülmektedir. Kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinde ise diğer hücrelerden farklı olarak artan kabarcık hızının konsantre % katı değerini arttırdığı görülmektedir. Bu hücreden elde edilen konsantrelerin % katı değerlerinin %27,50 ile %7,10 arasında değiştiği görülmektedir.



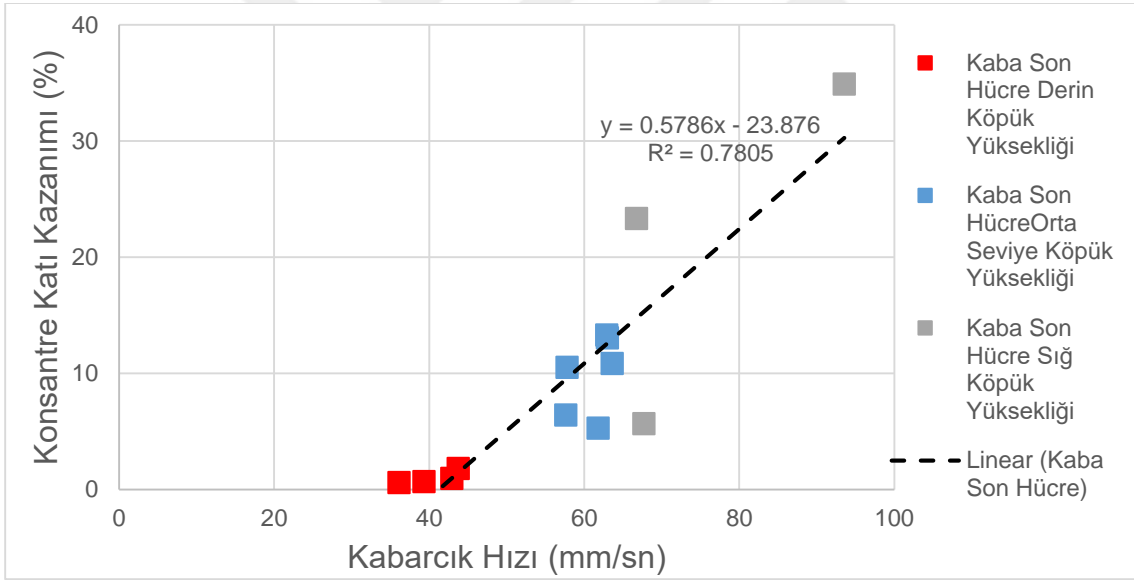
Şekil 4.71 Kabarcık hızı ile konsantre % katı miktarı ilişkisi

Kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinde kabarcık hızındaki artışın konsantre % katı miktarını arttırmasının sebebi olarak bu hücreye beslenen malzemenin en az hidrofobikliğe sahip taneleri içeren akış olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Tesise beslenen malzemenin, akım şemasından dolayı en hidrofobik tanelerin flaş hücrede ve geri kalan kısmın kaba flotasyon devresi boyunca kazanıldığı görülmektedir. Bu bakımdan kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinin beslemesi en az hidrofobikliğe sahip taneleri içermektedir. Bu durum sonuncu hücrede köpük stabilitesinin düşüklüğüne sebep olmaktadır. Köpük stabilitesindeki düşüş yüklü hava kabarcıklarının diğer hücrelere kıyasla ciddi bir kısmının konsantreye alınamadan patlayarak palp bölgesine geri dönmesine neden olmaktadır. Köpük yüksekliğindeki artış ile hem yeterince mineralize olamamış olan kabarcıkların köpük fazda kalma süreleri artmış hem de kabarcıkların mobilitesi düşmüştür. Kabarcıkların köpük fazda geçirdikleri sürenin artışıyla patlama sıklıklarında da artış meydana geldiğini bilinmektedir. Şekil 4.72'de en düşük kabarcık hızı değerlerinin elde edildiği derin köpük yüksekliğinde en düşük konsantre % katı miktarlarının elde edildiği göstermektedir. Şekil 4.73'te ise derin köpük yüksekliği değerlerinde konsantre katı kazanımının neredeyse 0 olduğunu, yani flotasyon ile zenginleştirme işleminin neredeyse durma noktasına geldiği görülmektedir.

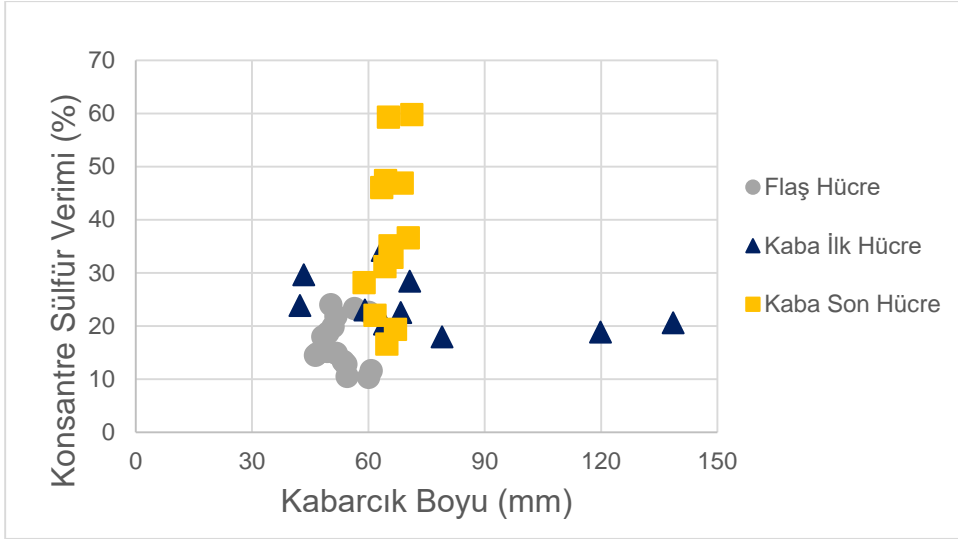
Şekil 4.72'de artan kabarcık hızının konsantre % katı miktarını en yüksek değer olan %27,50'ye kadar çıkardığı ve en yüksek kabarcık hızı değeri olan 93,6 mm/sn değerinde de konsantre % katı miktarının %27,42 olduğu görülmektedir. Bu durum, kabarcık hızındaki daha ileri bir artışın konsantre % katı miktarını arttırmazken, konsantre katı kazanımı arttırmaya devam ettiği şeklinde yorumlanabilir. Ancak, net bir yorum yapabilmek için bu hücrede sığ köpük yüksekliğinde 67.7 mm/sn ile 93.6 mm/sn arasındaki kabarcık hızlarının test edilip metalurjik performans verileri incelenmelidir.



Şekil 4.72 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücrede kabarcık hızı ile konsantre % katı miktarı ilişkisi



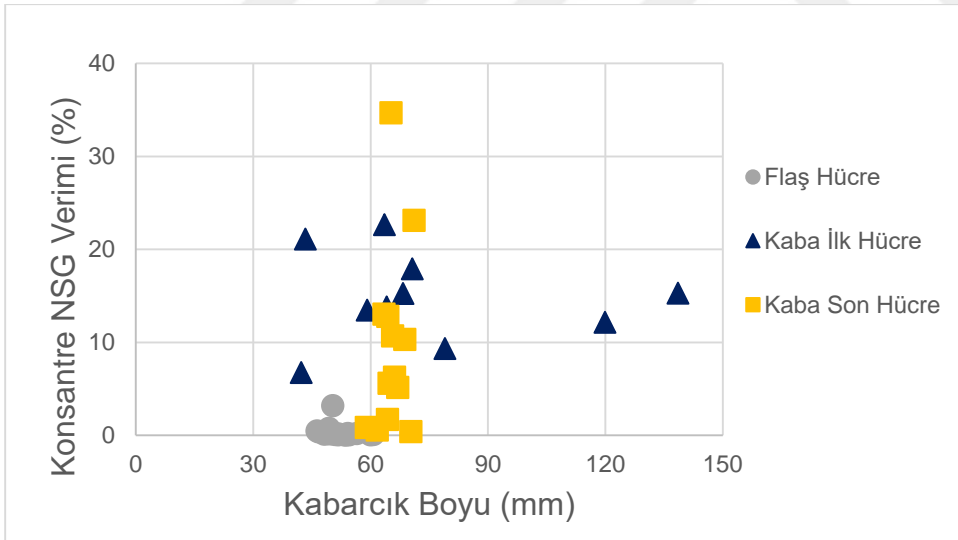
Şekil 4.73 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücrede kabarcık hızı ile konsantre katı kazanımı ilişkisi



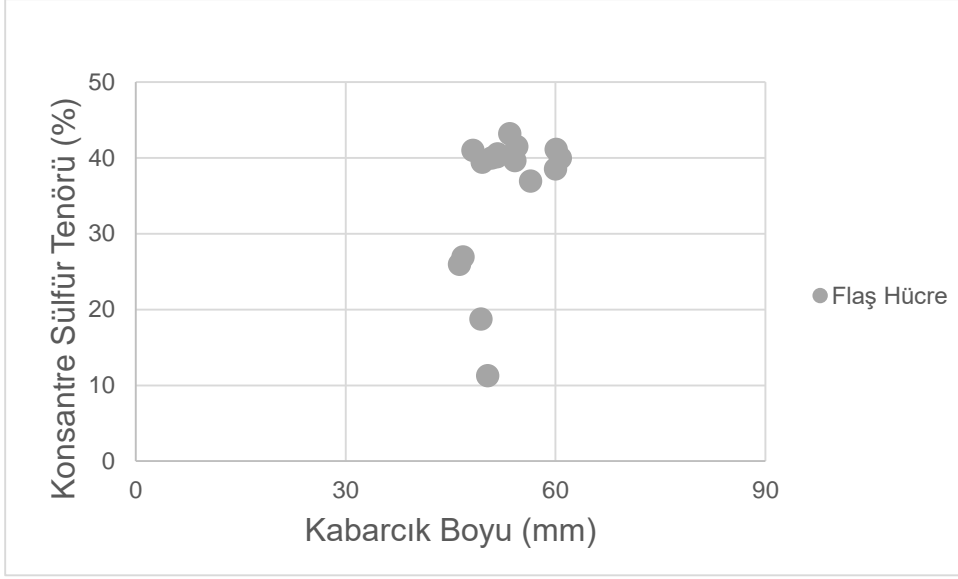
Şekil 4.76 Kabarcık boyu ile konsantre sülfür verimi ilişkisi

4.3.2.3. Kabarcık Boyu ile Gang Mineral Verimi İlişkisi

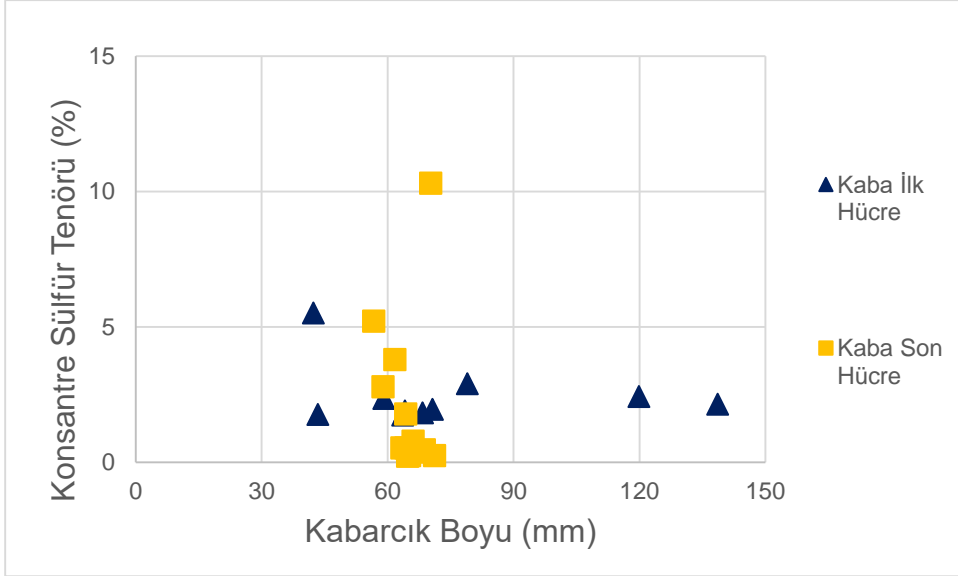
Şekil 4.77' de incelenen her bir hücre için kabarcık boyu ile konsantre gang mineral verimi arasındaki ilişki verilmiştir.



Şekil 4.77 Kabarcık boyu ile konsantre gang mineral verimi ilişkisi



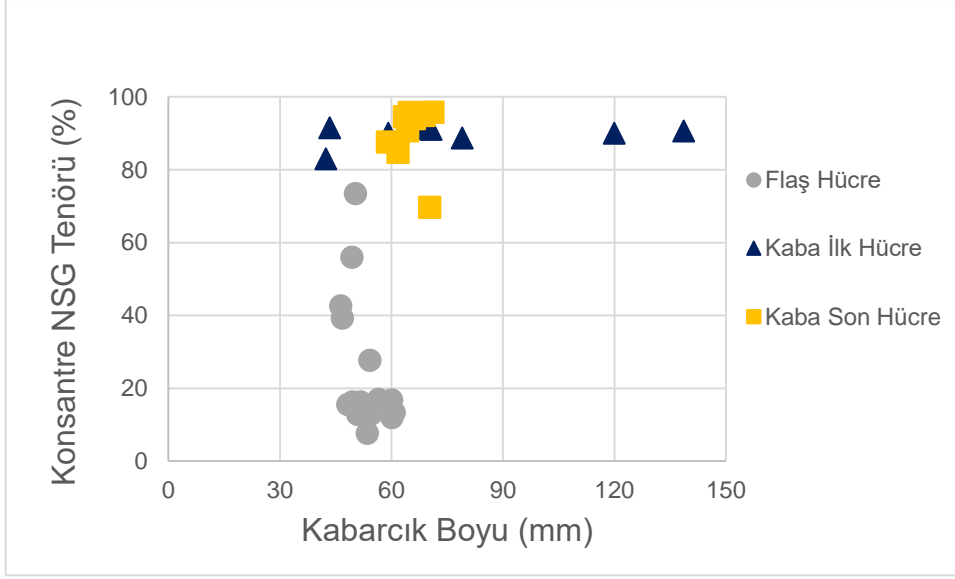
Şekil 4.80 Flaş hücrede kabarcık boyu ile konsantre sülfür tenörü ilişkisi



Şekil 4.81 Kaba flotasyon devresinde kabarcık boyu ile konsantre sülfür tenörü ilişkisi

4.3.2.5. Kabarcık Boyu ile Gang Mineral Tenörü İlişkisi

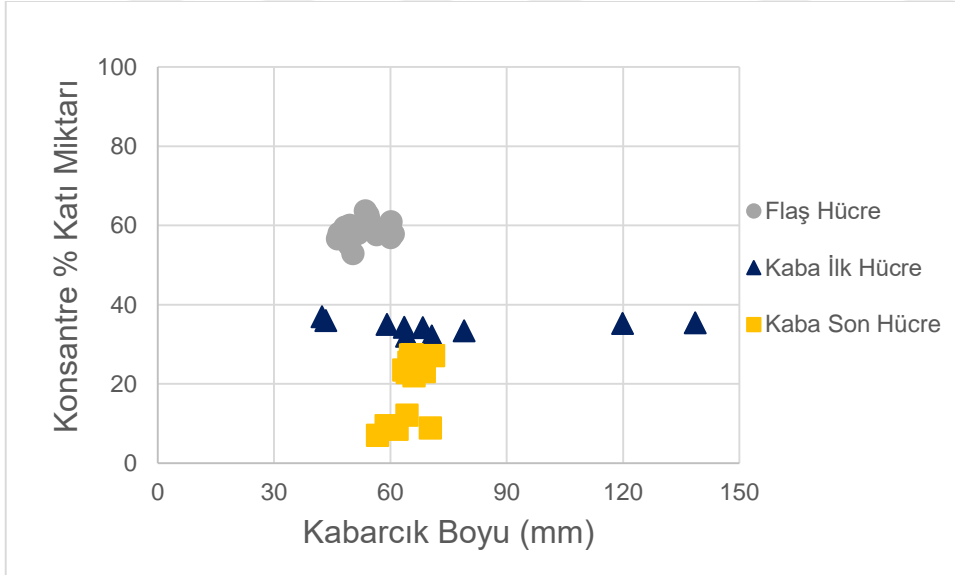
Şekil 4.82'de incelenen üç farklı flotasyon hücresi kabarcık boyu ile konsantre gang mineral tenörü arasındaki ilişki gösterilmiştir.



Şekil 4.82 Kabarcık boyu ile gang mineral tenörü ilişkisi

4.3.2.6. Kabarcık Boyu ile Konsantre % Katı Miktarı İlişkisi

Şekil 4.83'te her bir flotasyon hücresi için kabarcık boyu ile konsantre % katı miktarı arasındaki ilişki gösterilmiştir.



Şekil 4.83 Kabarcık boyu ile konsantre % katı miktarı ilişkisi

Citir C., vd. 2003 yılında laboratuvar ölçekli yapmış oldukları çalışmada kömür flotasyonundan elde ettikleri köpük görüntülerini kullanarak konsantre tenörü ile kabarcık boyu arasında ilişki bulunduğunu göstermiştir [85].

S. H. Morar, vd. 2012 yılında yapmış oldukları çalışmada hem bakır hem de platin flotasyon sistemlerinde kabarcık boyunun flotasyon performansı ile ilişkili olduğu bulunmuştur [8].

M. R. Hosseini, vd. 2015 yılında sülfürlü bakır cevheri kullanarak yapmış oldukları laboratuvar ölçekli çalışmada ortalama kabarcık boyunun flotasyon performansı ile güçlü ilişkisi bulunduğunu göstermiştir. Ancak, ortalama kabarcık boyunun yanında kabarcık hızı ve köpük rengi gibi diğer köpük özellikleri de kullanıldığında flotasyon performans tahmininin kesinliğinin arttığını söylemiştir. [86]

Literatürde kabarcık boyu ile flotasyon performans arasında ilişkiler bulunduğu gösterilmesine karşın bu tez çalışmasında kabarcık boyu ile flotasyon performansı arasında direkt bir ilişki bulunamamıştır.

4.3.3.Köpük Rengi ile Konsantre Tenörü İlişkisi

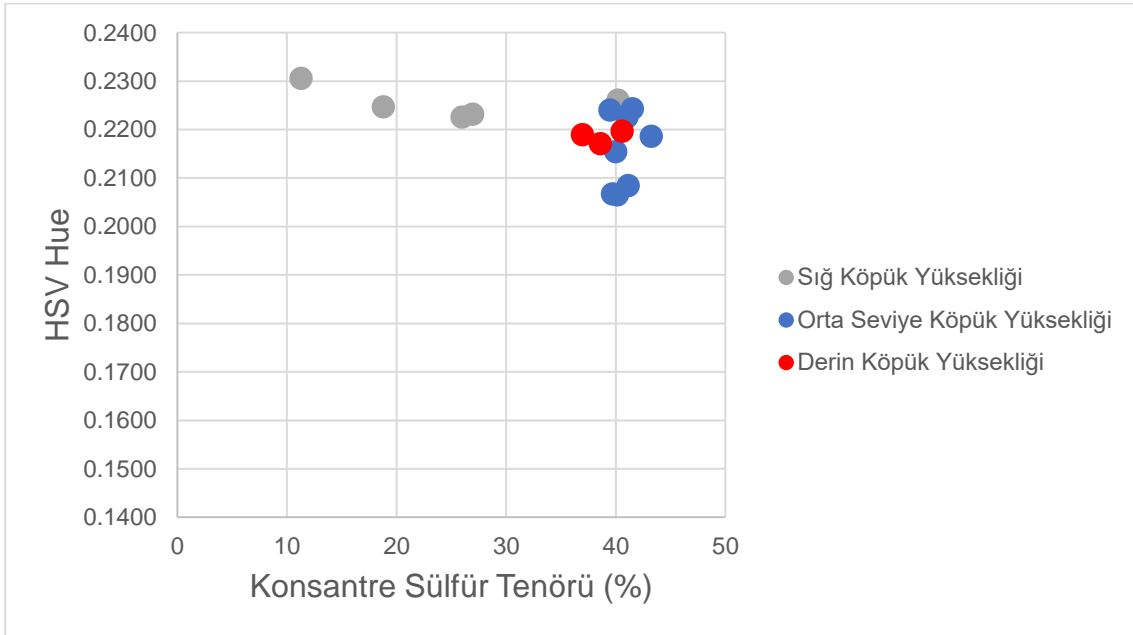
Köpük kamera sistemi her bir test için köpük renginin açıklanmasında RGB, HSV ve LAB renk modellerinde veri sağlamaktadır. Gerçekleştirilen çalışma kapsamında her bir test için elde edilen köpük rengi verilerinin medyan değerleri her bir hücre ve test için Çizelge 3.37, Çizelge 3.38 ve Çizelge 3.37’de verilmiştir. Köpüğün anlık renginin, köpükte bulunan minerallerin bir göstergesi olarak yorumlandığı geleneksel olarak bilinmektedir. Flotasyon konsantresinin içerisinde bulunan mineraller ile flotasyon köpük rengi arasında ilişki bulunduğu geçmiş çalışmalar tarafından gösterilmiştir [87] [88] [89] [90]. Bu bakımdan, her bir hücrede köpük rengi ile elde edilen konsantrelerin altın ve sülfür tenörleri ve de % katı miktarı arasındaki ilişki doğrusal korelasyon katsayıları Eşitlik 3-6 kullanılarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.18’de her bir renk modelini oluşturan renk kanallarının metalurjik parametreler ile doğrusal korelasyon katsayılarını göstermektedir.

Çizelge 4.18 Köpük rengi ile konsantre altın tenörü doğrusal korelasyon değerleri

Doğrusal Korelasyon Katsayısı		RGB Red	RGB Green	RGB Blue	HSV H	HSV S	HSV V	LAB L	LAB A	LAB B
Flaş Hücre	%S	0,44	-0,11	-0,26	-0,53	0,44	0,43	0,00	0,41	0,38
	%Au	0,53	-0,30	-0,58	-0,77	0,73	0,53	-0,16	0,62	0,69
	%Katı	0,40	-0,13	-0,21	-0,49	0,38	0,39	-0,02	0,43	0,28
Kaba Birinci Hücre	%S	0,46	0,43	0,52	0,40	-0,57	0,45	0,42	-0,13	-0,45
	%Au	0,54	0,51	0,60	0,44	-0,65	0,52	0,50	-0,18	-0,49
	%Katı	0,59	0,60	0,73	0,64	-0,83	0,60	0,62	-0,23	-0,73
Kaba Sonuncu Hücre	%S	-0,10	0,06	0,18	0,64	-0,74	-0,12	0,02	-0,25	-0,53
	%Au	-0,09	0,09	0,21	0,67	-0,81	-0,11	0,04	-0,31	-0,55
	%Katı	0,19	0,01	-0,14	-0,74	0,83	0,22	0,06	0,25	0,65

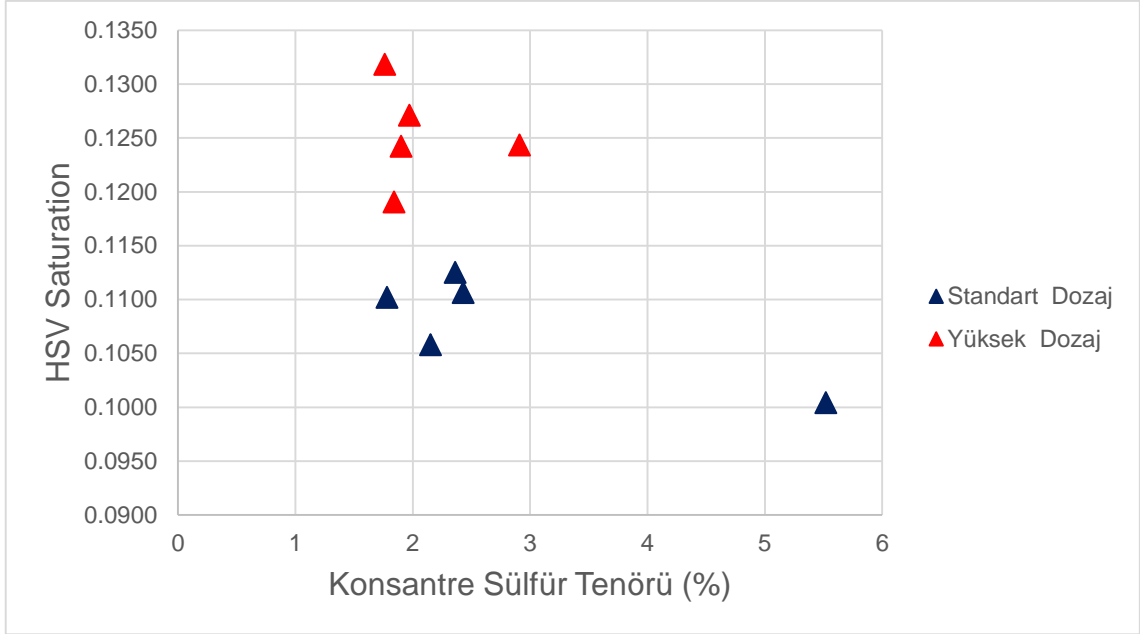
4.3.3.1.Konsantre Sülfür Tenörü ile Köpük Rengi İlişkisi

Her bir hücre için konsantrelerin sülfür tenörleri ile renk modellerini oluşturan değişkenlerin (RGB için kırmızı, yeşil ve mavi renk kanallarını temsil eden R,G ve B; HSV için renk tonu, doygunluk ve parlaklığı temsil eden H,S ve V; LAB için açıklık, ve renk boyutlarını temsil eden L, A ve B değişkenleri) farklılık gösterdiği görülmektedir. Flaş hücrede en yüksek doğrusal korelasyon katsayısı HSV renk modelinin Hue değişkeni (renk tonu) ile gözlemlenmiştir. Flaş hücredeki korelasyon katsayısının -0,53 olduğu görülmektedir. Kaba flotasyon devresinin birinci ve sonuncu hücrelerinde konsantre sülfür tenörü ile en yüksek korelasyon katsayılarının HSV renk modelinin Saturation (doygunluk) değişkeni olduğu görülmektedir. Kaba flotasyon devresinin birinci hücresinde elde edilen korelasyon katsayısı -0,57 iken, sonuncu hücrede bu değer -0,74'e çıkmıştır. HSV renk modelinin Hue değişkeninin değerinin sırasıyla flaş hücreden, kaba flotasyon devresinin birinci ve sonuncu hücresine gidildikçe artmış olduğu görülmektedir. Benzer bir ilişki HSV renk modelinin Saturation değişkeni için yine aynı hücre sırasıyla azalmış olduğu görülmektedir. Ancak, konsantre sülfür tenör davranışının tüm hücreler için ortak bir şekilde herhangi bir renk değişkeni ile açıklanamadığı, her hücrenin kendi içerisinde değerlendirilmesi gerektiği görülmektedir. Şekil 4.84'te flaş hücrede konsantre sülfür tenörü ile Hue değeri ilişkisi gösterilmektedir.

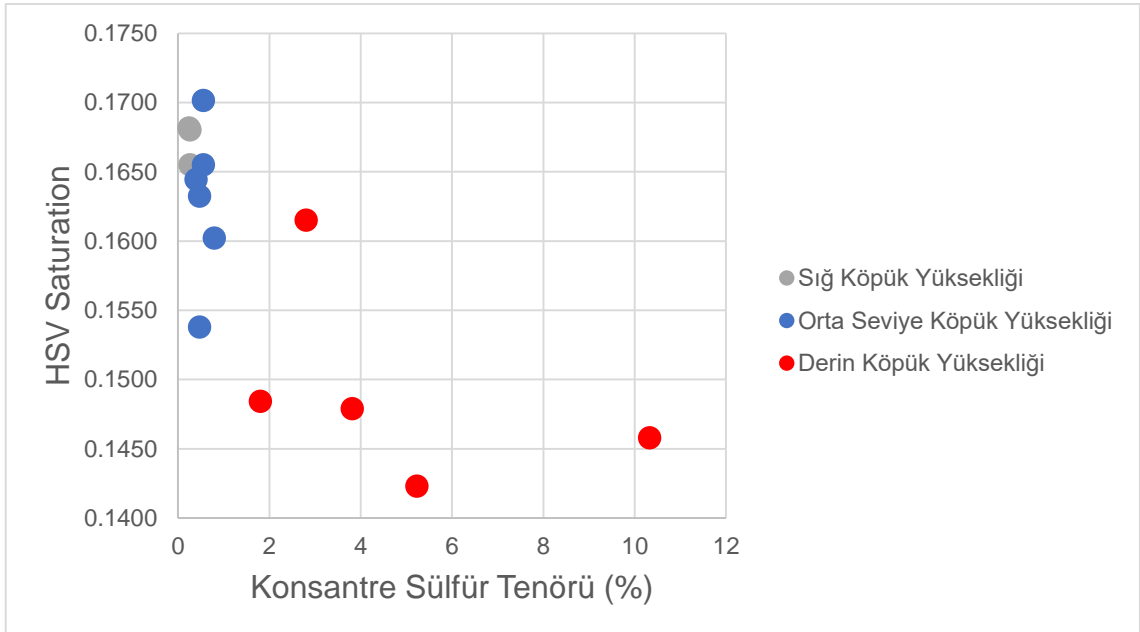


Şekil 4.84 Flaş hücrede konsantre sülfür tenörü ile Hue değeri ilişkisi

Şekil 4.85'te kaba flotasyon devresinin birinci hücresinde konsantre sülfür tenörü ile Saturation değeri ilişkisi ve Şekil 4.85'te kaba flotasyon devresi sonuncu hücrede konsantre sülfür tenörü ile Saturation değeri ilişkisi verilmiştir.



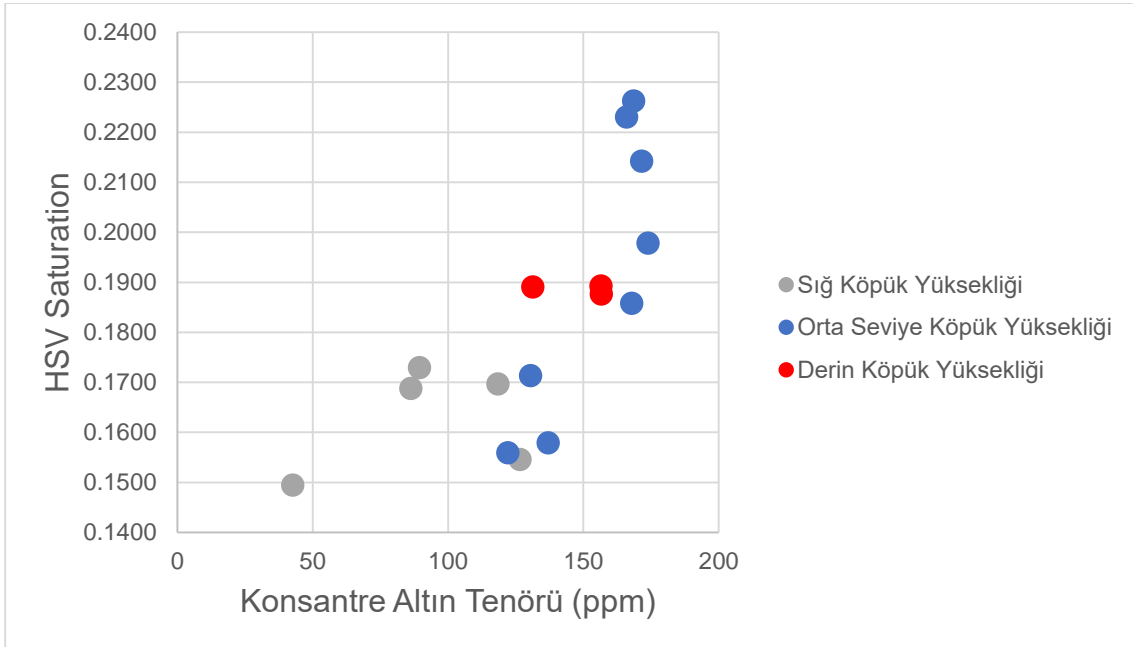
Şekil 4.85 Kaba flotasyon devresi birinci hücrede konsantre sülfür tenörü ile Saturation değeri ilişkisi



Şekil 4.86 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücrede konsantre sülfür tenörü ile Saturation değeri ilişkisi

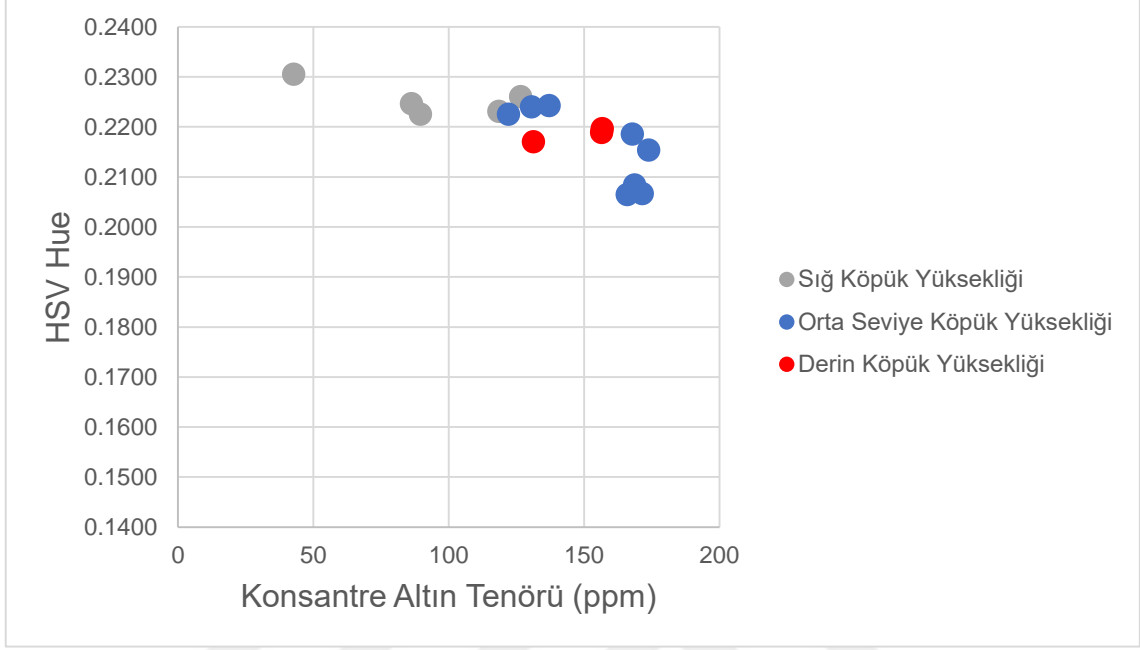
4.3.3.2.Konsantre Altın Tenörü ile Köpük Rengi İlişkisi

Her bir hücre için konsantrelerin altın tenörleri ile renk modellerini oluşturan değişkenlerin farklılık gösterdiği görülmektedir. Flaş hücrede en yüksek doğrusal korelasyon katsayısı HSV renk modelinin Hue değişkeni (renk tonu) ile -0,77 değerinde gözlemlenmiştir. Ayrıca bu hücrede HSV renk modelinin Saturation (doygunluk) değişkeninin 0,73 gibi yüksek bir değer aldığı da görülmektedir. Kaba flotasyon devresinin birinci ve sonuncu hücrelerinde konsantre sülfür tenörü ile en yüksek korelasyon katsayılarının HSV renk modelinin Saturation (doygunluk) değişkeni olduğu görülmektedir. Kaba flotasyon devresinin birinci hücresinde elde edilen korelasyon katsayısı -0,65 iken, sonuncu hücrede bu değer -0,81'e çıkmıştır. HSV renk modelinin Hue değişkeninin değerinin sırasıyla flaş hücreden, kaba flotasyon devresinin birinci ve sonuncu hücresine gidildikçe artmış olduğu görülmektedir. Benzer bir ilişki HSV renk modelinin Saturation değişkeni için yine aynı hücre sırasıyla azalmış olduğu görülmektedir. Ancak, konsantre altın tenör davranışının tüm hücreler için ortak bir şekilde herhangi bir renk değişkeni ile açıklanamadığı, her hücrenin kendi içerisinde değerlendirilmesi gerektiği görülmektedir. Şekil 4.87'de flaş hücrede konsantre altın tenörü ile Saturation değeri ilişkisi verilmiştir.

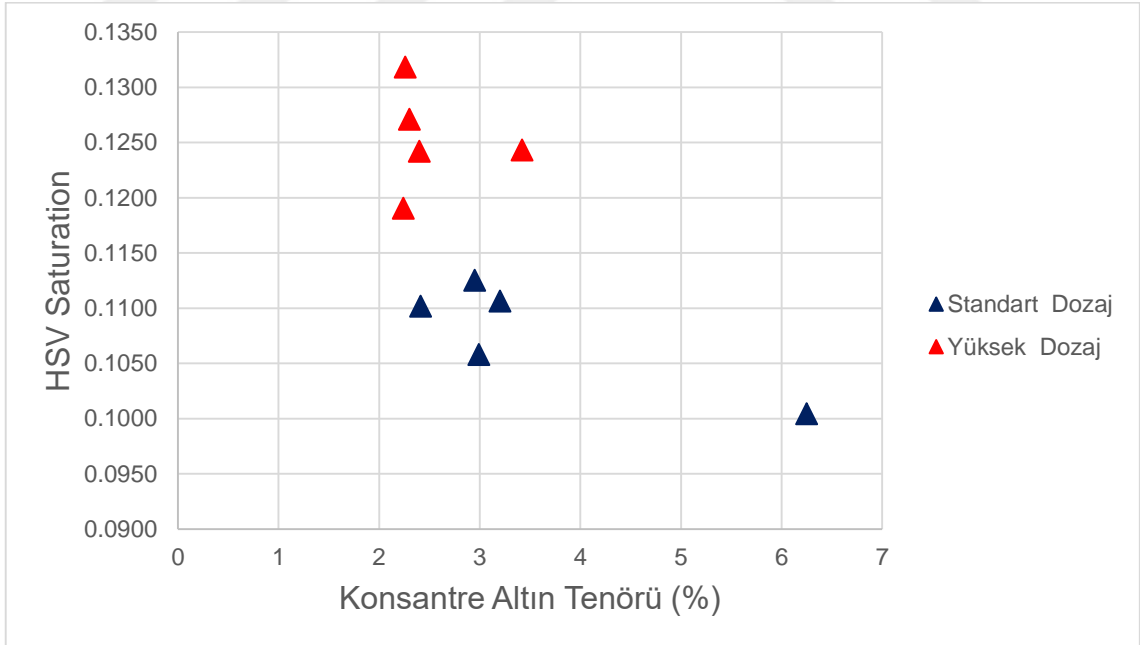


Şekil 4.87 Flaş hücrede konsantre altın tenörü ile Saturation değeri ilişkisi

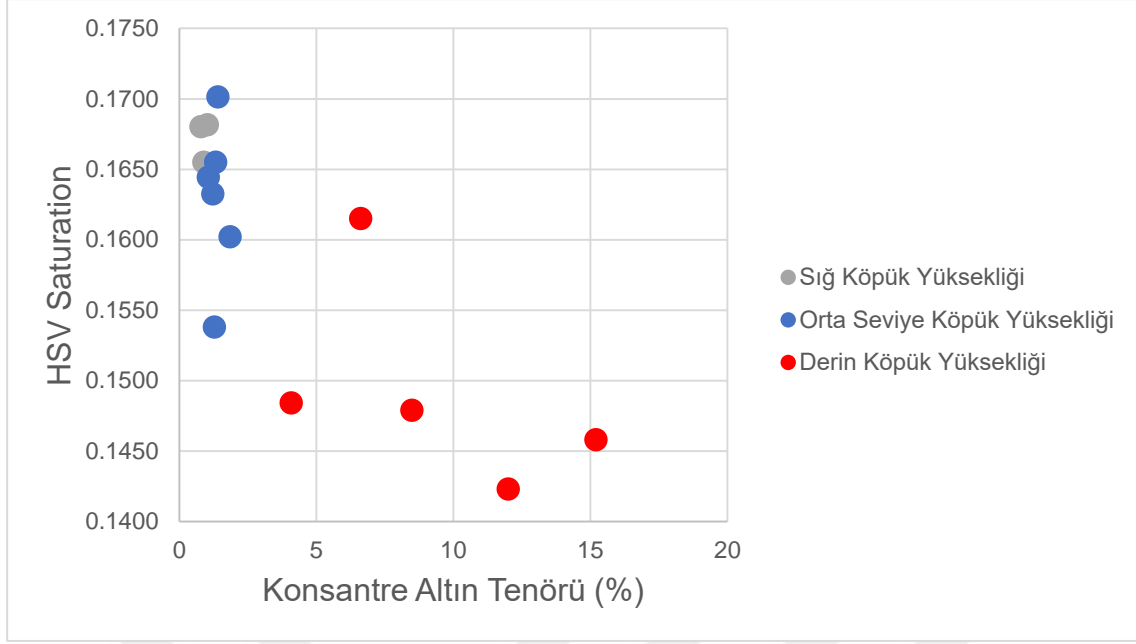
Şekil 4.88’ de flaş hücrede konsantre altın tenörü ile Hue değeri ilişkisi, Şekil 4.89’da kaba flotasyon devresinin birinci hücresinde konsantre altın tenörü ile Saturation değeri ilişkisi gösterilmektedir. Şekil 4.90’da flotasyon devresi sonuncu hücrede konsantre altın tenörü ile Saturation değeri ilişkisi verilmiştir.



Şekil 4.88 Flaş hücrede hücrede konsantre altın tenörü ile Hue değeri ilişkisi



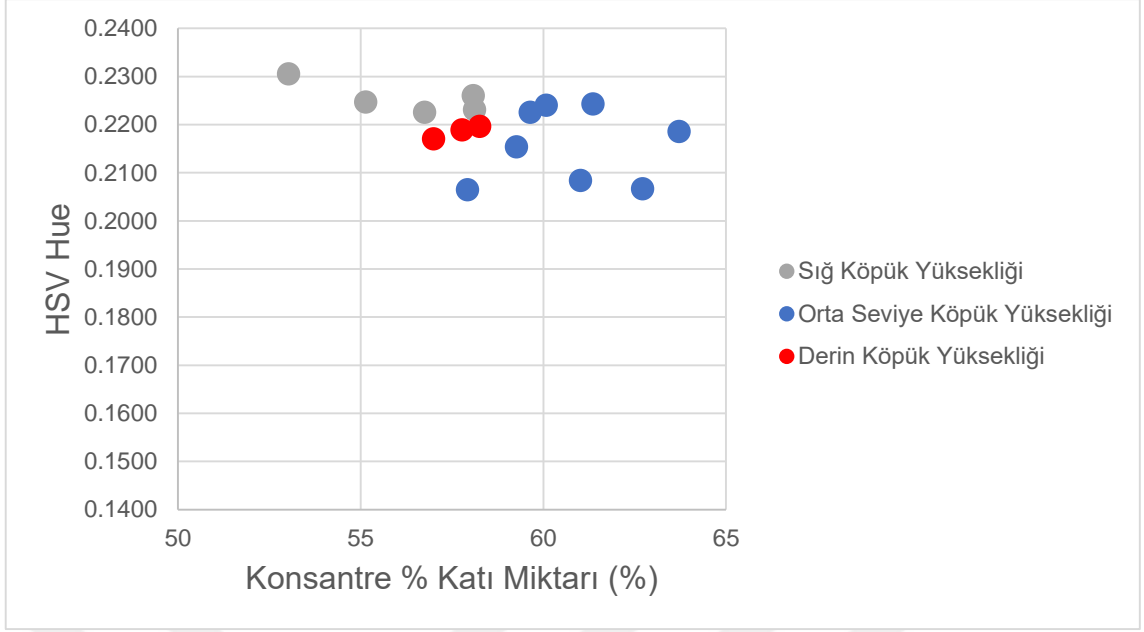
Şekil 4.89 Kaba flotasyon devresi birinci hücrede konsantre altın tenörü ile Saturation değeri ilişkisi



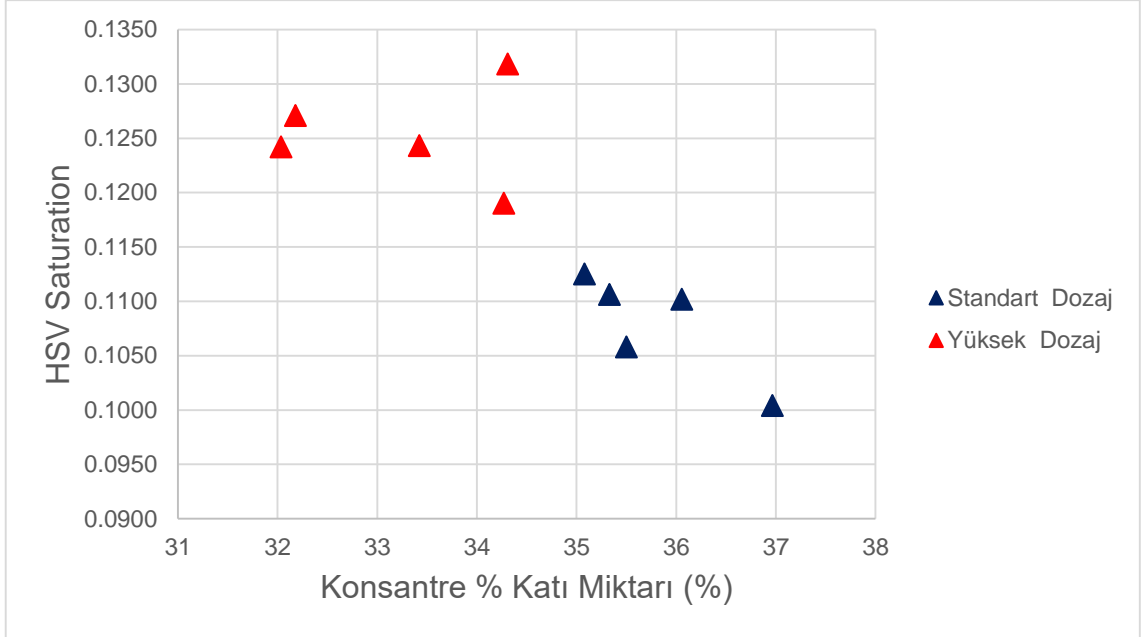
Şekil 4.90 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücrede konsantre altın tenörü ile Saturation değeri ilişkisi

4.3.3.3.Konsantre % Katı Miktarı ile Köpük Rengi İlişkisi

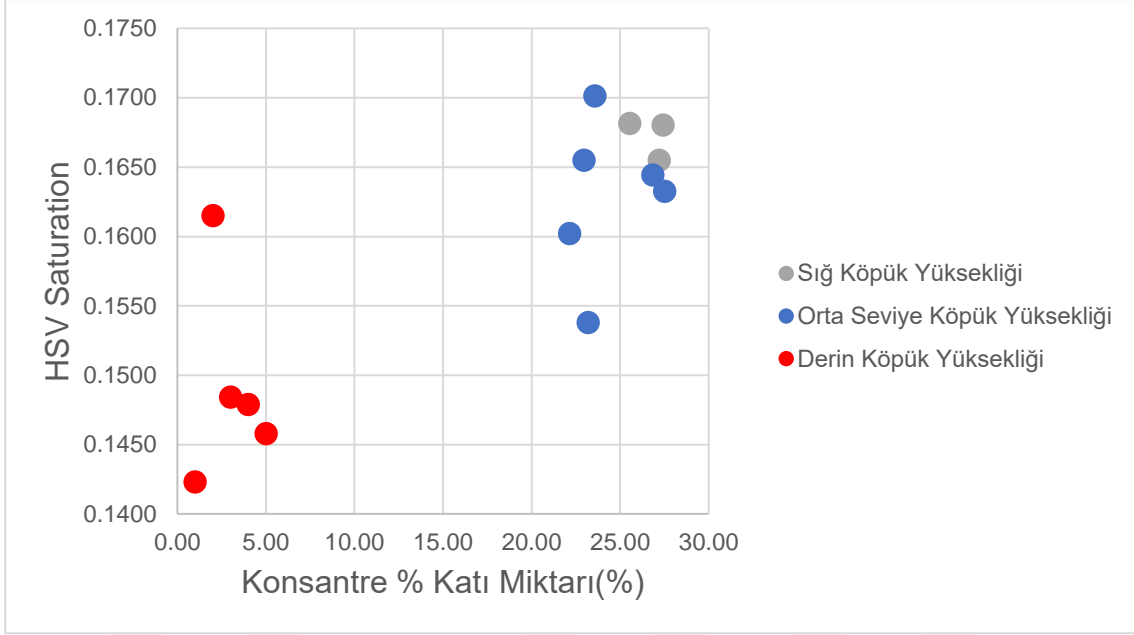
Her bir hücre için konsantrelerin % katı miktarları ile renk modellerini oluşturan değişkenlerin farklılık gösterdiği görülmektedir. Flaş hücrede en yüksek doğrusal korelasyon katsayısı HSV renk modelinin Hue değişkeni (renk tonu) ile -0,49 değerinde gözlemlenmiştir. Kaba flotasyon devresinin birinci ve sonuncu hücrelerinde konsantre % katı miktarı ile en yüksek korelasyon katsayılarının HSV renk modelinin Saturation (doygunluk) değişkeni olduğu görülmektedir. Kaba flotasyon devresinin birinci hücresinde elde edilen korelasyon katsayısı -0,83 iken, sonuncu hücrede bu değer 0,83 olduğu görülmektedir. Şekil 4.91’de flaş hücrede konsantre % katı miktarı ile Hue değeri ilişkisi. Şekil 4.92’de kaba flotasyon devresinin birinci hücresinde konsantre % katı miktarı ile Saturation değeri ilişkisi ve Şekil 4.93’te kaba flotasyon devresinin birinci hücresinde konsantre % katı miktarı ile Saturation değeri ilişkisi verilmiştir.



Şekil 4.91 Flaş hücrede konsantre % katı miktarı ile Hue değeri ilişkisi



Şekil 4.92 Kaba flotasyon devresi birinci hücrede konsantre % katı miktarı ile Saturation değeri ilişkisi



Şekil 4.93 Kaba flotasyon devresi sonuncu hücrede konsantre % katı miktarı ile Saturation değeri ilişkisi

5. SONUÇLAR

Bu tez kapsamında üç farklı flotasyon hücresinin köpük yüzeylerinden elde edilen köpük değişkenleri ile metalurjik performansları arasındaki ilişkiler incelenmiştir. İncelenen hücrelerin metalurjik performansları ve köpük yapıları hücrenin çalıştırılmakta olduğu operasyonel koşulların farklı değerlere ayarlanmasıyla değiştirilmiştir. Köpük değişkenleri Stone Three Köpük Kamera Sistemi MK5 tarafından çevrimiçi olarak ölçülmüştür.

İncelenen flotasyon hücrelerinin flotasyon performanslarının birbirlerinden farklı olduğu görülmüştür. Kabarcık hızı ve ortalama kabarcık boyu değişkenleri ile incelenen hücrelerin flotasyon performansları arasındaki ilişkiler yorumlanmıştır. Dinamik ve fiziksel köpük değişkenleri üzerinden incelenen hücrelerin flotasyon davranışları arasındaki farklılıklar ortaya çıkarılmıştır.

Kabarcık hızının incelenen hücrelerin flotasyon performans göstergeleri ile en yüksek korelasyonları veren köpük değişkeni olduğu bulunmuştur. İncelenen her bir hücrenin kabarcık hızı ile flotasyon performansı arasındaki ilişkinin kendine özgü olduğu görülmüştür.

Kabarcık hızının tamamen olamasa da incelenen flotasyon hücrelerinin kontrolünde ve anlık performansının değerlendirilmesinde kullanılabileceği görülmektedir. Kabarcık hızının kontrolü hücrenin işletildiği palp seviyesi ve hücreye verilen hava miktarı üzerinden gerçekleştirilmiştir. Operasyonel koşullardaki değişimin kabarcık hızına olan etkisi flaş flotasyon hücresinde en net olarak görülmüştür. Flotasyon hücresinin beslemesinde bulunan hidrofobik malzeme miktarındaki düşüş, kabarcık hızı kontrolünde palp seviyesini belirleyici faktör haline getirmiştir. Kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinde kabarcık hızının belirlenmesinde palp seviyesi ana faktör haline gelmiştir. Bunun sebebi olarak beslemede bulunan hidrofobik malzeme miktarındaki düşüşün zayıf köpük stabilitesine neden olması gösterilmiştir.

Flaş flotasyon hücresinde kabarcık hızı ile konsantre altın tenörü arasındaki ilişki beslemenin altın tenöründeki değişimden etkilenmiştir. Bu hücrede kabarcık hızındaki artışa karşılık aynı besleme tenöründeki konsantrelerin altın tenörlerinin neredeyse değişmediği görülmüştür. Bundan dolayı, flaş hücrede konsantre altın

tenör tahmininin yapılmasında sadece kabarcık hızının yeterli olmayacağı, aynı zamanda besleme karakterinin ve operasyonel koşulların da hesaba katılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Kaba flotasyon devresinin birinci hücresinde gerçekleştirilen köpürtücü dozajı testlerinde, köpürtücü dozajındaki artışın ortalama kabarcık boyunu düşürdüğü görülmüştür. Bu hücredeki ortalama kabarcık boyu değerinin standart köpürtücü dozajı için 80,7 mm iken yüksek köpürtücü dozajında 69,1 mm olduğu görülmüştür. Aynı zamanda köpürtücü dozajındaki artış hava hızı ile kabarcık hızı arasındaki ilişkiyi daha net bir hale getirmiştir.

Kabarcık hızı ile konsantre katı kazanımı arasındaki ilişki her bir hücre için doğrusal regresyon analizi ile incelenmiştir. Flaş flotasyon hücresinde regresyon R kare değerinin 0,38, kaba flotasyon devresinin birinci hücresinde 0,57 ve sonuncu hücrede ise 0,78 olduğu görülmüştür. Her bir hücre için regresyon P-değerlerinin %95 güven aralığı altında bulunduğu görülmektedir. Bundan dolayı, kabarcık hızının konsantre katı kazanımının tahmini için en anlamlı olarak kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinde kullanılabileceği görülmektedir. Her bir hücre için konsantre altın ve sülfür verimlerinin hücrelerden elde edilen konsantre katı kazanımı değerleri ile doğrusal olarak ilişkili olduğu görülmüştür. Kabarcık hızı ile konsantre altın ve sülfür verimleri arasındaki ilişki doğrusal regresyon analizi ile incelendiğinde R kare değerlerinin sırasıyla flaş hücre için 0,07 ve 0,07; kaba flotasyon devresinin birinci hücresi için 0,19 ve 0,09; kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinde ise 0,54 ve 0,26 olduğu görülmüştür. Kabarcık hızı kullanılarak konsantre altın ve sülfür verimlerinin tahmininin en anlamlı şekilde kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinde gerçekleştirilebileceği görülmüştür. Kabarcık hızı ile konsantre altın ve sülfür tenörleri arasındaki ilişkinin açıklanabilmesinde doğrusal regresyon analizinin flaş flotasyon hücresi ve kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresi için yeterli olmadığı görülmüştür. Kabarcık hızı ile konsantre altın ve sülfür tenörleri arasındaki ilişkinin doğrusal regresyon analizi sonucunda elde edilen R kare değerinin kaba flotasyon devresinin birinci hücresinde 0,83 ve 0,84 olduğu görülmüştür. Bu durumun sebebi olarak kaba flotasyon devresinin birinci hücresinde palp seviyesinin değiştirilememesi olarak gösterilmiştir. Kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinde kabarcık hızı ile konsantre altın tenörü arasındaki ilişkinin üstel olarak incelenmesiyle R kare

değerinin 0,95 olduğu görülmüştür. Kabarcık hızının elde edilen konsantrenin altın tenörünün tahmini için en anlamlı şekilde kaba flotasyon devresinin sonuncu hücrelerinde kullanılabileceği görülmüştür.

Ortalama kabarcık boyu ile flotasyon performansı arasında net bir ilişki bulunamamıştır. Ancak, flaş flotasyon hücresinin köpük seviyesindeki artış ile ortalama kabarcık boyunda irileşme olduğu görülmüştür. Bu hücrede sıg köpük yüksekliğinde ortalama 48,9 mm kabarcık boyu gözlemlenirken orta seviye ve derin köpük yüksekliklerinde ise sırasıyla 53,9 mm ve 56,0 mm ortalama kabarcık boyu gözlemlenmiştir. Kaba flotasyon devresinin birinci hücresinde gerçekleştirilen köpürtücü dozajı testlerinin de kabarcık boyu üzerindeki etkisi göz önüne alınırsa, kabarcık boyunun flotasyon performansının açıklanmasından ziyade anlık operasyonel koşulların yorumlanmasında kullanılabilecek bir değişken olduğu sonucuna varılmıştır.

Köpük rengi ile konsantrenin altın ve sülfür tenörleri arasında hücre bazında korelasyonların bulunmasına rağmen incelenen tüm hücrelerin konsantrelerinin altın ve sülfür tenörlerindeki değişimin tamamını açıklayabilen ortak bir trend bulunamamıştır.

Köpük yüksekliği değişkeni flaş flotasyon hücresinde hava verimi değerlerinin hesaplanabilmesinde kullanılabilmektedir. Bu sayede flaş flotasyon hücresinde farklı palp seviyelerinde hava verimi ve konsantre altın tenörü arasındaki ilişki incelenmiştir. Kaba flotasyon devresinin birinci hücresinde elde edilen negatif değerlerin bu hücrenin çok yüksek palp seviyesinde çalıştırılmasından dolayı kalibrasyon hatası olarak yorumlanmıştır. Kaba flotasyon devresinin sonuncu hücresinde köpük yüksekliği ile operasyonel koşullar ve flotasyon performansı arasında herhangi bir ilişki bulunamamıştır.

KAYNAKLAR

- [1] D.W. Moolman. C. Aldrich. J.S.J. Van Deventer. D.J. Bradshaw. Chem Eng Sci 50 (1995) 3501–3513.
- [2] D.W. Moolman. J.J. Eksteen. C. Aldrich. J.S.J. Van Deventer. Int J Miner Process 48 (1996) 135–158.
- [3] C. Aldrich. E. Avelar. X. Liu. Miner Eng 188 (2022) 107823.
- [4] J.D. le Roux. D.J. Oosthuizen. S. Mantsho. I.K. Craig. IFAC-PapersOnLine 53 (2020) 11854–11859.
- [5] K. Runge. D. La Rosa. A Correlation Between Visiofroth™ Measurements and the Performance of a Flotation Cell. 2007.
- [6] A. Supomo. E. Yap. X. Zheng. G. Banini. J. Mosher. A. Partanen. Miner Eng 21 (2008) 808–816.
- [7] M. Massinaei. A. Jahedsaravani. E. Taheri. J. Khalilpour. Powder Technol 343 (2019) 330–341.
- [8] S.H. Morar. M.C. Harris. D.J. Bradshaw. Miner Eng 36–38 (2012) 31–36.
- [9] J. Kaartinen. J. Hätönen. H. Hyötyniemi. J. Miettunen. Control Eng Pract 14 (2006) 1455–1466.
- [10] M.C. Fuerstenau. G.J. Jameson. R.H. Yoon. Froth Flotation : A Century of Innovation. Society for Mining. Metallurgy. and Exploration. 2009.
- [11] S. Ata. Int J Miner Process 102–103 (2012) 1–12.
- [12] S.J. Neethling. J.J. Cilliers. Int J Miner Process 72 (2003) 267–287.
- [13] S. Farrokhpay. Adv Colloid Interface Sci 166 (2011) 1–7.
- [14] N. Kursari. O. Arjmandi-Tash. A. Trybala. V.M. Starov. Microgravity Sci Technol 31 (2019) 589–601.
- [15] V.A. Glembotskii. Flotation. Primary Sources. New York. 1972.
- [16] A.W. Banford. Z. Aktas. E.T. Woodburn. Powder Technol 98 (1998) 61–73.
- [17] S.J. Neethling. J.J. Cilliers. Int J Miner Process 64 (2002) 123–134.

- [18] S. Schwarz. S. Grano. *Colloids Surf A Physicochem Eng Asp* 256 (2005) 157–164.
- [19] N.W. Johnson. D.J. McKee. A.J. Lynch. *Trans. Am. Inst. Min. Eng.* 256 (1974).
- [20] S.J. Neethling. J.J. Cilliers. E.T. Woodburn. *Chem Eng Sci* 55 (2000) 4021–4028.
- [21] Glembotskii V. A. *Flotation. Primary Sources.* New York. 1972.
- [22] S. Ata. N. Ahmed. G.J. Jameson. *Int J Miner Process* 72 (2003) 255–266.
- [23] R.M. Rahman. S. Ata. G.J. Jameson. *Miner Eng* 81 (2015) 152–160.
- [24] R.M. Rahman. S. Ata. G.J. Jameson. *Miner Eng* 81 (2015) 161–166.
- [25] D.W. Moolman. C. Aldrich. J.S.J. van Deventer. W.W. Stange. *Int J Miner Process* 43 (1995) 193–208.
- [26] G. Tsatouhas. S.R. Grano. M. Vera. *Miner Eng* 19 (2006) 774–783.
- [27] O. N. Savassi. D. J. Alexander. N. W. Johnson. J. P. Franzidis. E. V. Manlapig. in: *Sixth Mill Operators' Conference.* 1997. pp. 149–155.
- [28] D. Bradshaw. S.H. Morar. D.P. Hatfield. N. Barbian. D.J. Bradshaw. J.J. Cilliers. B. Triffett. *A Comparison of Flotation Froth Stability Measurements and Their Use in the Prediction of Concentrate Grade.* 2006.
- [29] N. Barbian. J.J. Cilliers. S.H. Morar. D.J. Bradshaw. *Int J Miner Process* 84 (2007) 81–88.
- [30] E. Ventura-Medina. N. Barbian. J.J. Cilliers. *Int J Miner Process* 74 (2004) 189–200.
- [31] E. Ventura-Medina. J.J. Cilliers. *Int J Miner Process* 67 (2002) 79–99.
- [32] R.J. Pugh. *Adv Colloid Interface Sci* 64 (1996) 67–142.
- [33] Woodburn E.T.. Austin L.G.. Stockton J.B.. *Chemical Engineering Research and Design* 72 (1994) 211–226.
- [34] K. Hadler. J.J. Cilliers. *Miner Eng* 22 (2009) 451–455.
- [35] K. Hadler. M. Greyling. N. Plint. J.J. Cilliers. *Miner Eng* 36–38 (2012) 248–253.

- [36] K. Hadler. C.D. Smith. J.J. Cilliers. *Miner Eng* 23 (2010) 994–1002.
- [37] T. V. Subrahmanyam. E. Forssberg. *Miner Eng* 1 (1988) 41–52.
- [38] D. Tang. E. Wightman. J. P. Franzidis. in: *Proc. XXIV International Mineral Processing Congress. Beijing. n.d.*
- [39] N. Barbian. K. Hadler. E. Ventura-Medina. J.J. Cilliers. *Miner Eng* 18 (2005) 317–324.
- [40] M.A. Vera. J.P. Franzidis. E. V. Manlapig. *Miner Eng* 12 (1999) 1163–1176.
- [41] B.M. Moudgil. *Correlation between Froth Viscosity and Flotation Efficiency. n.d.*
- [42] D.R. Seaman. E. V. Manlapig. J.P. Franzidis. *Miner Eng* 19 (2006) 841–851.
- [43] D.R. Seaman. E. V. Manlapig. J.P. Franzidis. *Miner Eng* 19 (2006) 841–851.
- [44] M. Zanin. E. Wightman. S.R. Grano. J.P. Franzidis. *Int J Miner Process* 91 (2009) 19–27.
- [45] G. Johansson. R.J. Pugh. *Int J Miner Process* 34 (1992) 1–21.
- [46] A. Dippenaar. *Int J Miner Process* 9 (1982) 1–14.
- [47] A. Dippenaar. *Int J Miner Process* 9 (1982) 15–22.
- [48] Z. Ekmekçi. D.J. Bradshaw. S.A. Allison. P.J. Harris. *Miner Eng* 16 (2003) 941–949.
- [49] D.J. McKee. *Miner Eng* 4 (1991) 653–666.
- [50] Z.T. Mathe. M.C. Harris. C.T. O'Connor. J.P. Franzidis. *Miner Eng* 11 (1998) 397–421.
- [51] B.J. Shean. J.J. Cilliers. *Int J Miner Process* 100 (2011) 57–71.
- [52] D.W. Moolman. C. Aldrich. J.S.J. Van Deventer. W.W. Stange. *Miner Eng* 7 (1994) 1149–1164.
- [53] D.W. Moolman. J.J. Eksteen. C. Aldrich. J.S.J. Van Deventer. *Int J Miner Process* 48 (1996) 135–158.

- [54] D.W. Moolman. C. Aldrich. J.S.J. Van Deventer. D.J. Bradshaw. Chem Eng Sci 50 (1995) 3501–3513.
- [55] D.W. Moolman. C. Aldrich. G.P.J. Schmitz. J.S.J. Van Deventer. Miner Eng 9 (1996) 837–854.
- [56] C. Aldrich. C. Marais. B.J. Shean. J.J. Cilliers. Int J Miner Process 96 (2010) 1–13.
- [57] C. Yang. J. Yang. X. Mou. K. Zhou. W. Gui. Journal of Electronics & Information Technology 30 (2011) 1286–1290.
- [58] N. Alona. Aspects in Mining & Mineral Science 6 (2021).
- [59] M. Massinaei. A. Jahedsaravani. E. Taheri. J. Khalilpour. Powder Technol 343 (2019) 330–341.
- [60] K. Brooks. W. Munalula. IFAC-PapersOnLine 50 (2017) 25–30.
- [61] B. Newcombe. D. Bradshaw. E. Wightman. Miner Eng 34 (2012) 1–10.
- [62] Sandström E.. Jönsson H.. in: Proceedings XVI International Mineral Processing Congress. 1988. pp. 525–533.
- [63] B. Newcombe. D. Bradshaw. E. Wightman. Miner Eng 41 (2013) 86–96.
- [64] P. Vallejos. J. Yianatos. M. Rodríguez. J. Cortínez. Minerals 13 (2023) 875.
- [65] J. Yianatos. L. Bergh. L. Vinnett. I. Rojas. Miner Eng 66–68 (2014) 202–206.
- [66] M. Qaredaqi. H.H.A. Shirazi. H. Abdollahi. Int J Miner Process 106–109 (2012) 65–69.
- [67] S. Agheli. A. Hassanzadeh. B.V. Hassas. M. Hasanzadeh. Int J Min Sci Technol 28 (2018) 167–176.
- [68] M. Gupta. K. Huang. R.-H. Yoon. Miner Eng 188 (2022) 107853.
- [69] G.J. Jameson. Miner Eng 36–38 (2012) 132–137.
- [70] N. Kupka. R. Tolosana-Delgado. E. Schach. K. Bachmann. T. Heinig. M. Rudolph. Miner Eng 146 (2020) 106111.
- [71] I. Achaye. EFFECT OF PARTICLE PROPERTIES ON FROTH STABILITY. 2017.

- [72] T. Chidzanira. Investigation of the Effect of Particle Size on Froth Stability. 2016.
- [73] J. Fang. Y. Ge. J. Yu. Powder Technol 379 (2021) 576–584.
- [74] Stone Three. Stone Three Froth Sensor Product Brochure 2022. 2022.
- [75] Stone Three. Planning Froth Sensor Deployments - Guidelines. 2022.
- [76] K. Brooks. W. Munalula. IFAC-PapersOnLine 50 (2017) 25–30.
- [77] A. Mehrabi. N. Mehrshad. M. Massinaei. Int J Miner Process 133 (2014) 60–66.
- [78] R.Q. Honaker. A. V. Ozsever. B.K. Parekh. Miner Eng 19 (2006) 687–695.
- [79] Y.S. Cho. J.S. Laskowski. Int J Miner Process 64 (2002) 69–80.
- [80] L. Wang. Y. Peng. K. Runge. D. Bradshaw. Miner Eng 70 (2015) 77–91.
- [81] X. Zheng. N.W. Johnson. J.P. Franzidis. Miner Eng 19 (2006) 1191–1203.
- [82] T.J. Napier-Munn. Statistical Methods for Mineral Engineers. AusIMM. 2020.
- [83] M.H. Moys. Int J Miner Process 13 (1984) 117–142.
- [84] E.T. Woodburn. L.G. Austin. J.B. Stockton. Chemical Engineering Research and Design 72 (1994) 211–226.
- [85] C. Citir. Z. Aktas. R. Berber. Computer Aided Chemical Engineering 14 (2003) 605–610.
- [86] M.R. Hosseini. H.H.A. Shirazi. M. Massinaei. N. Mehrshad. Chem Eng Commun 202 (2015) 911–919.
- [87] S.H. Morar. G. Forbes. G.S. Heinrich. D.J. Bradshaw. D. King. J.I. Adair. L. Esdaile. The Use of a Colour Parameter in a Machine Vision System. SmartFroth. to Evaluate Copper Flotation Performance at Rio Tinto's Kennecott Copper Concentrator. n.d.
- [88] G. Bonifazi. P. Massacci. A. Meloni. Miner Eng 13 (2000) 737–746.
- [89] J.F. Reddick. A.H. Hesketh. S.H. Morar. D.J. Bradshaw. Miner Eng 22 (2009) 64–69.

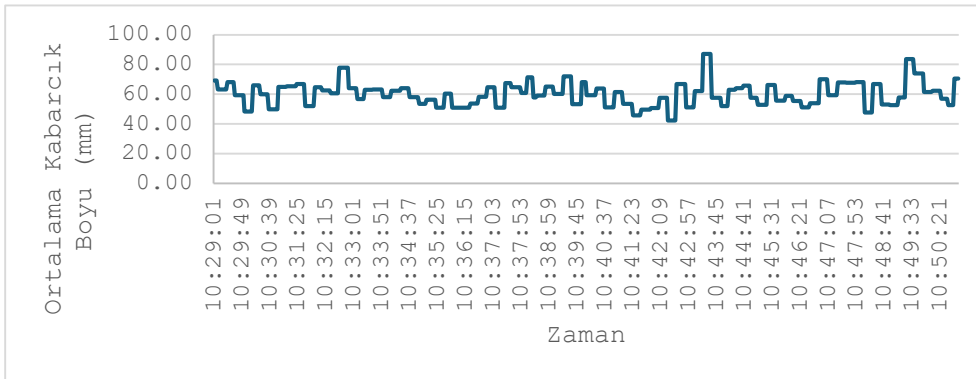
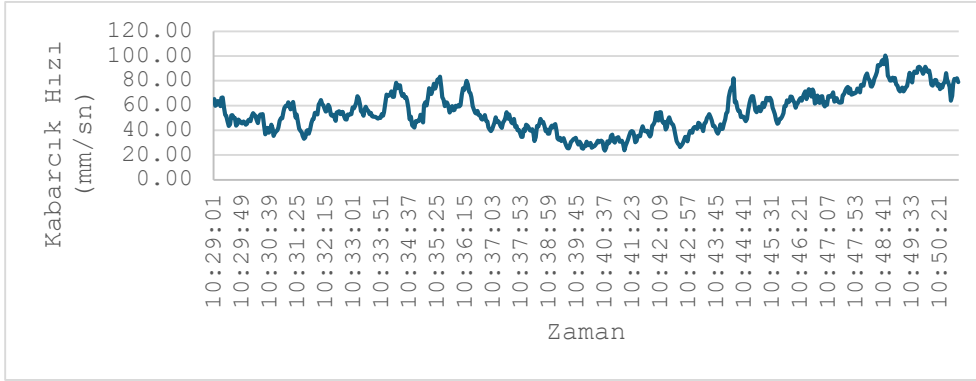
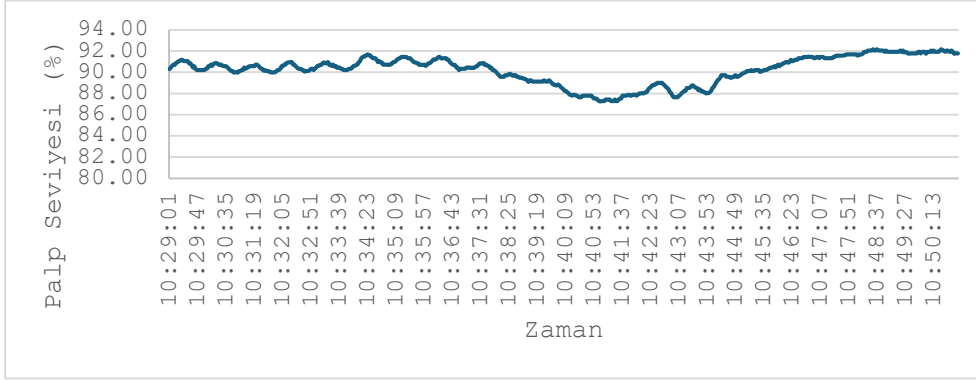
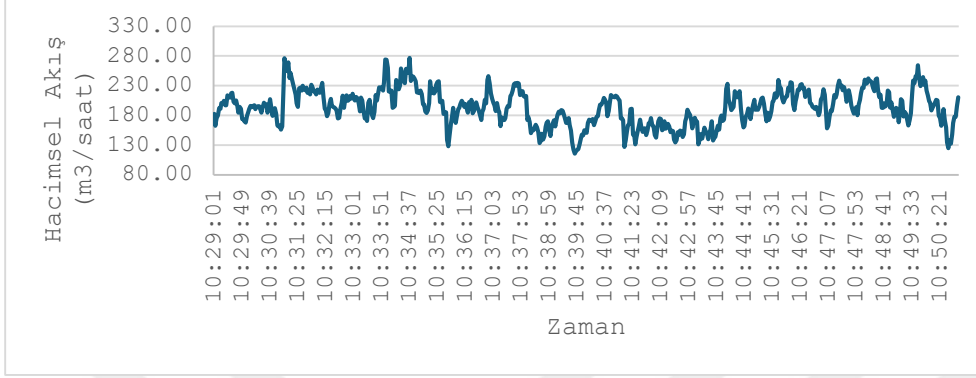
[90] J.M. Hargrave. S.T. Hall. Miner Eng 10 (1997) 613–621.



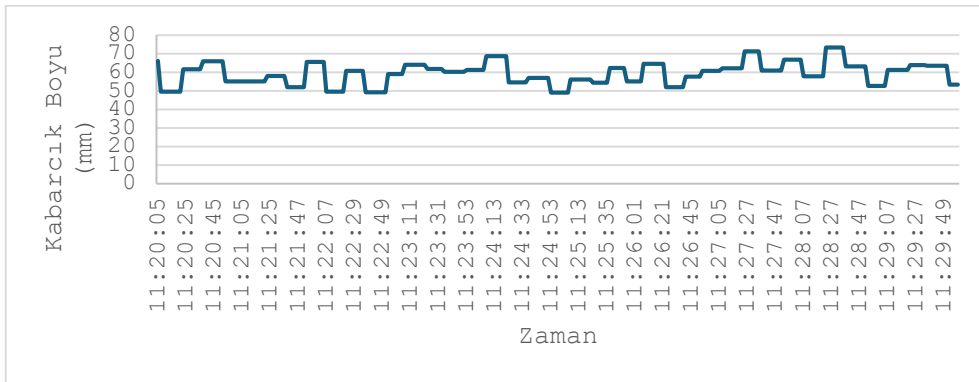
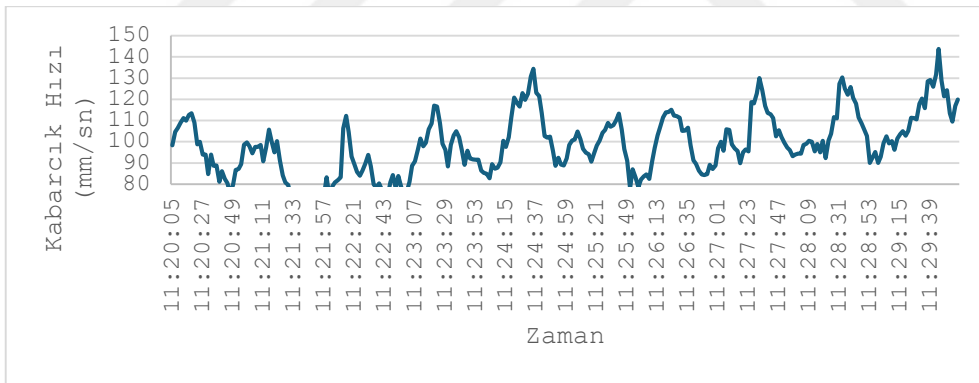
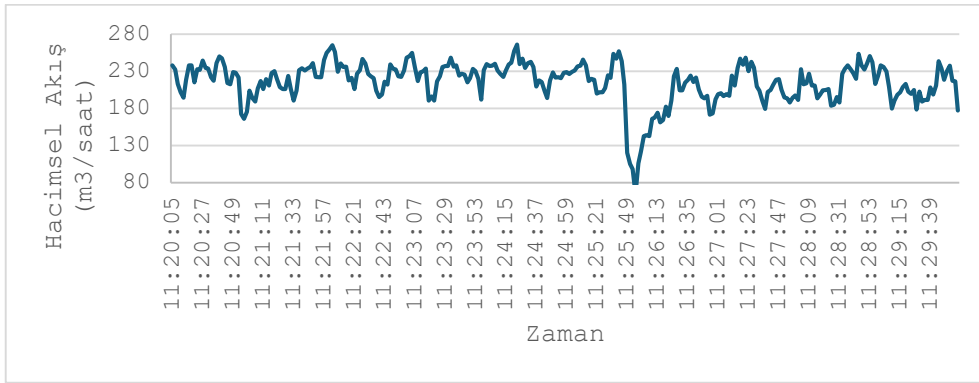
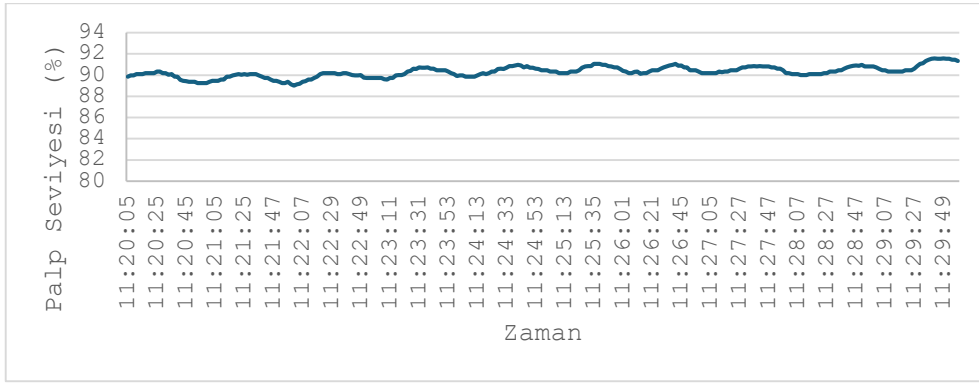
EKLER

Flaş Flotasyon Hücresi

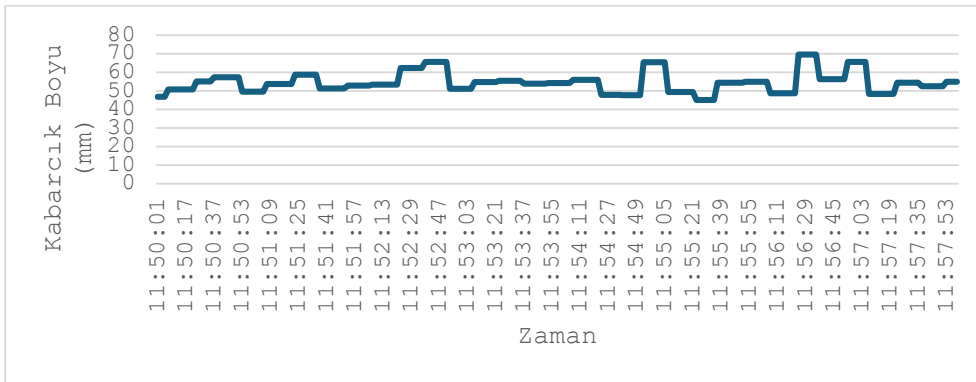
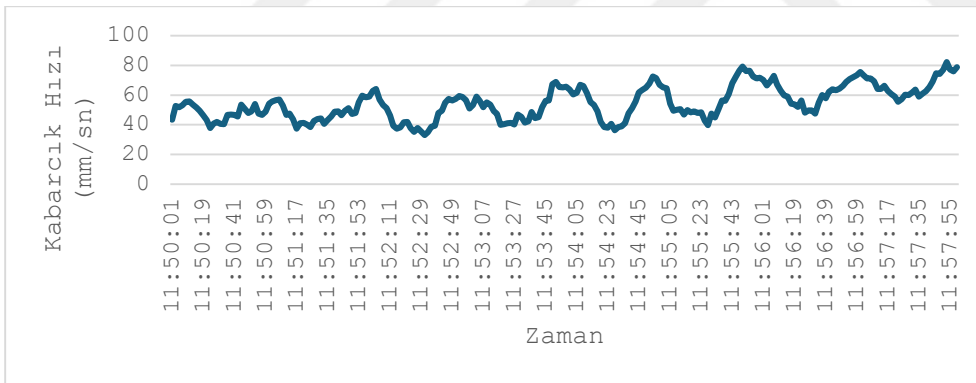
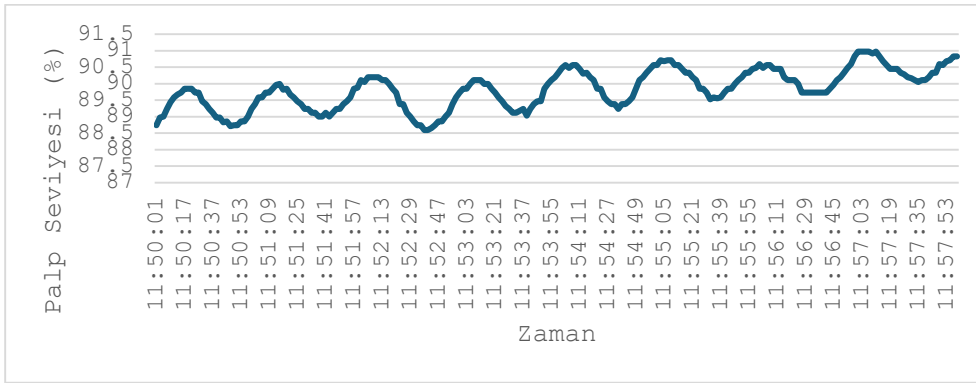
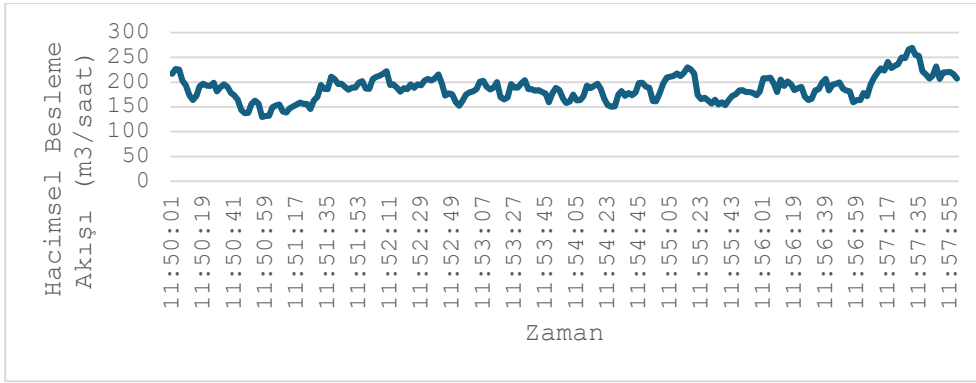
Test1



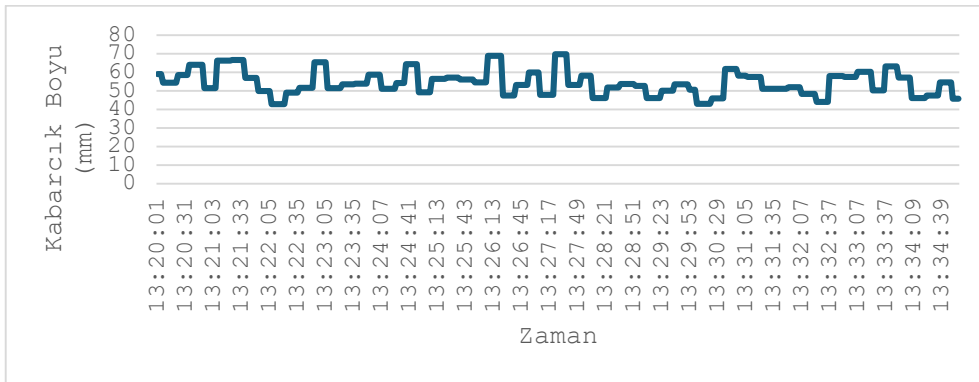
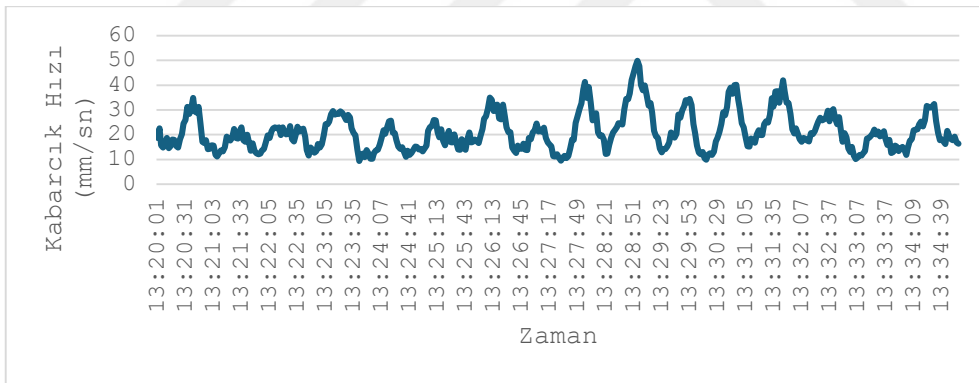
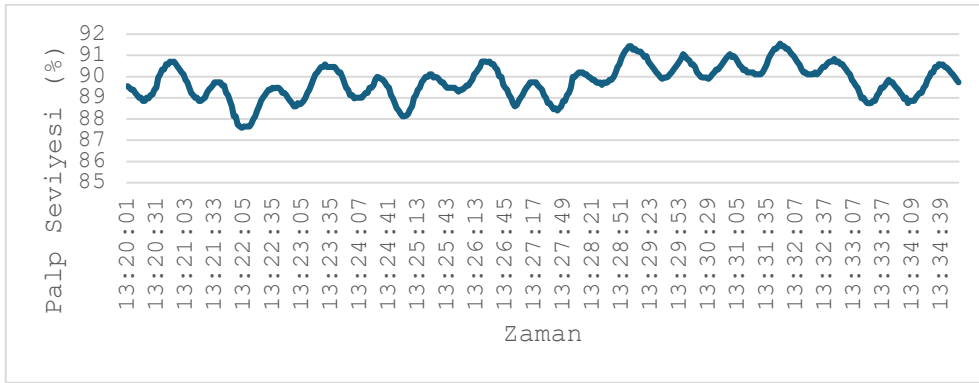
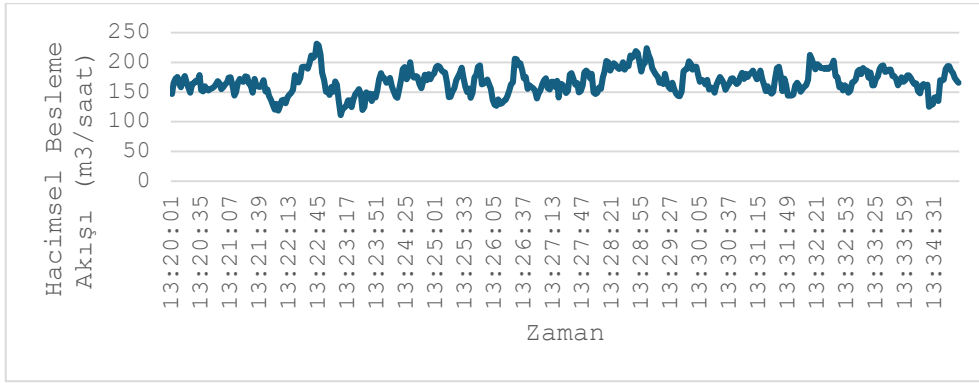
Test 2



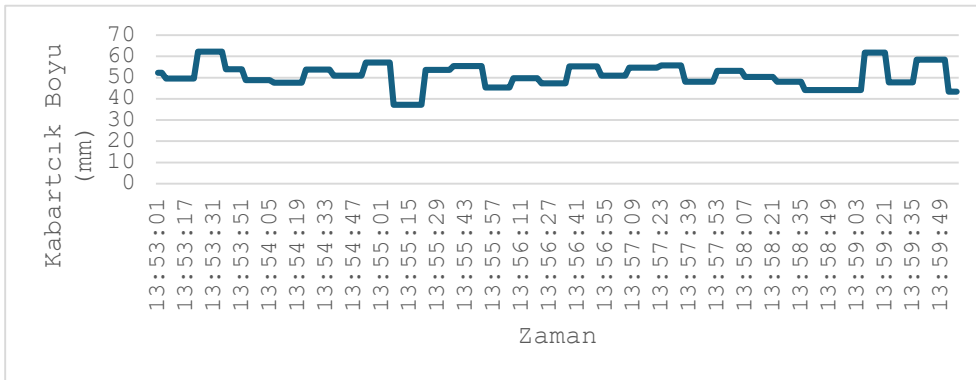
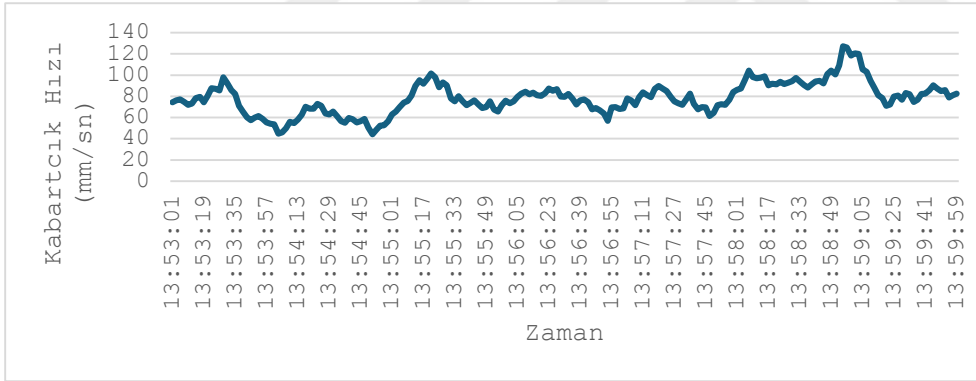
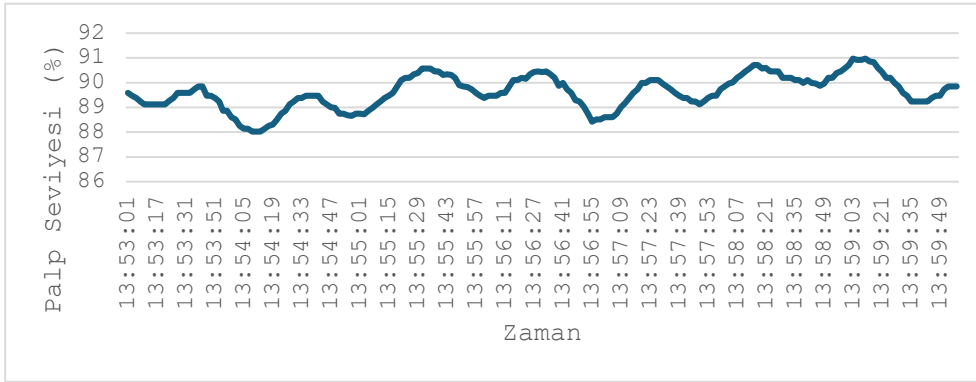
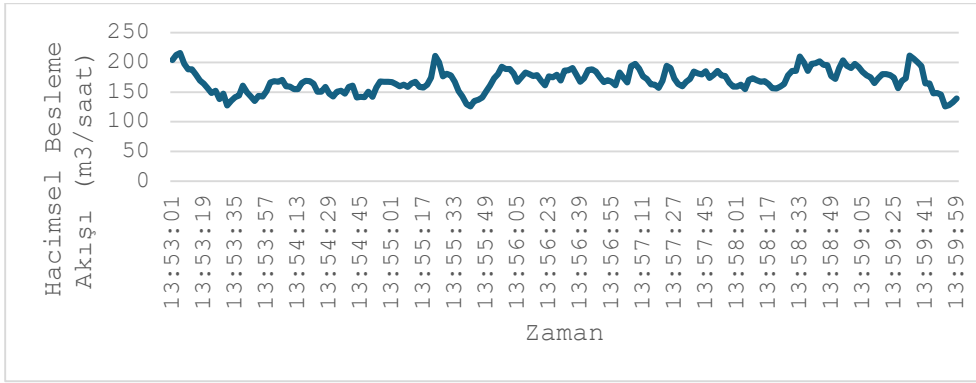
Test 3



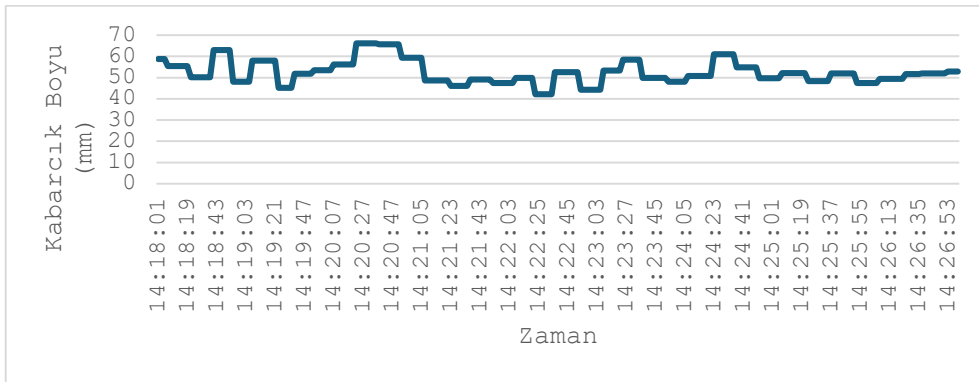
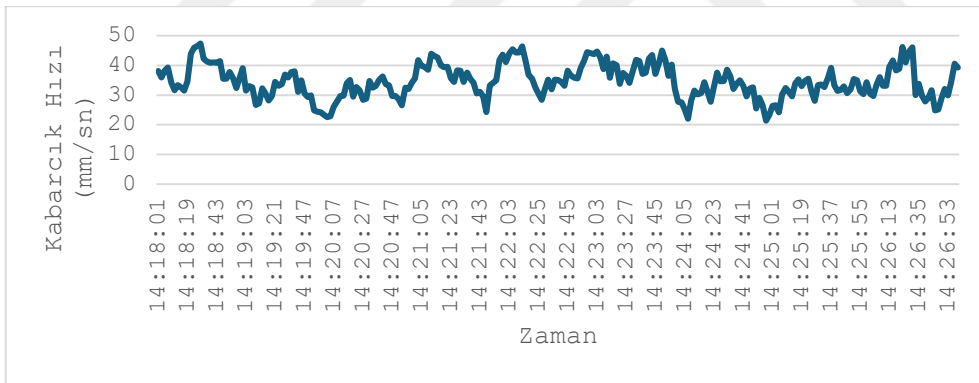
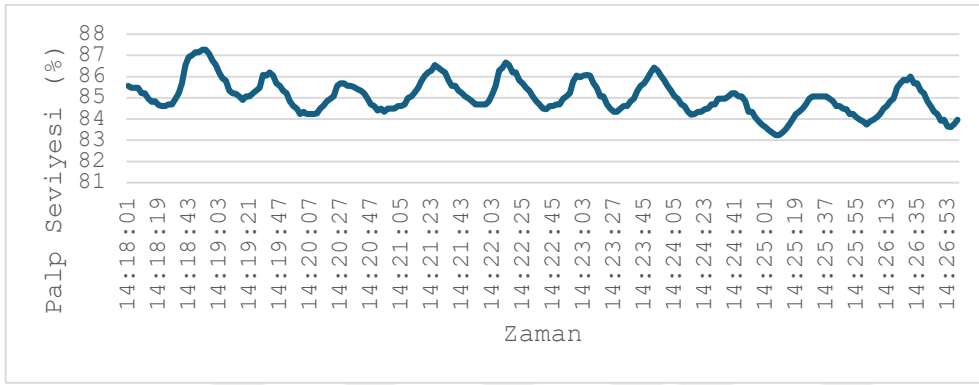
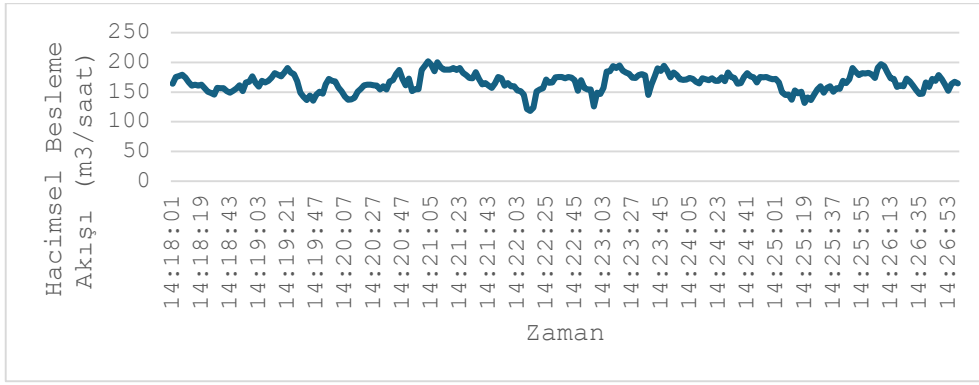
Test 4



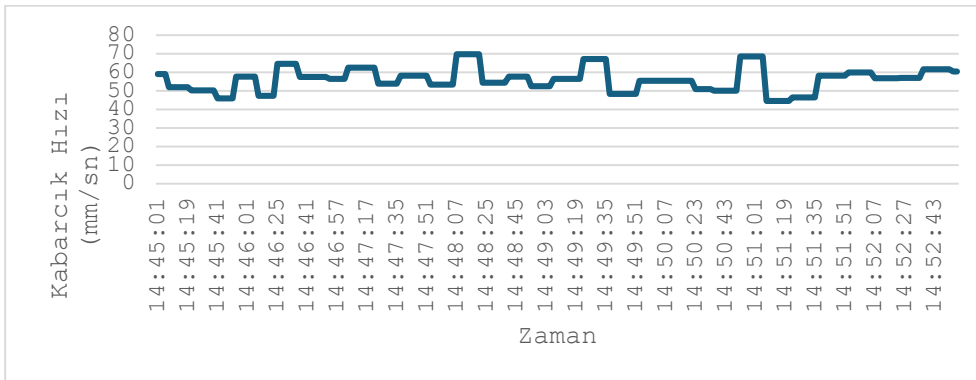
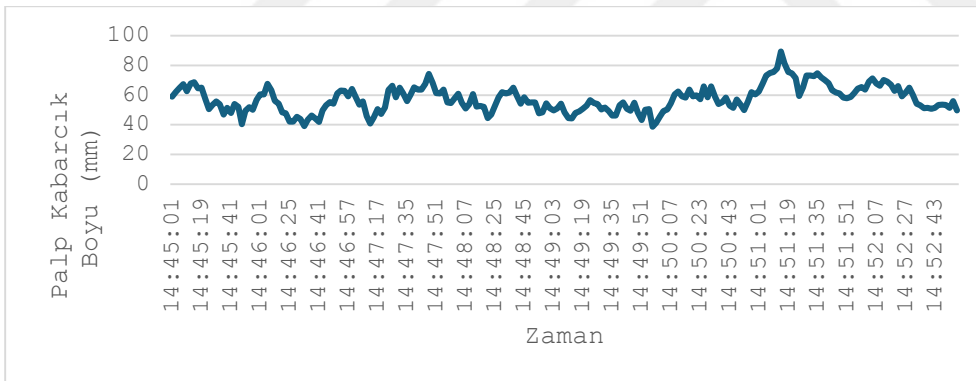
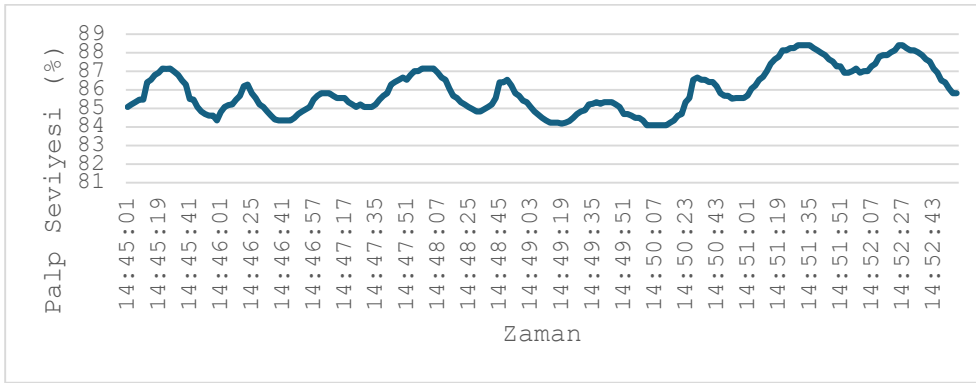
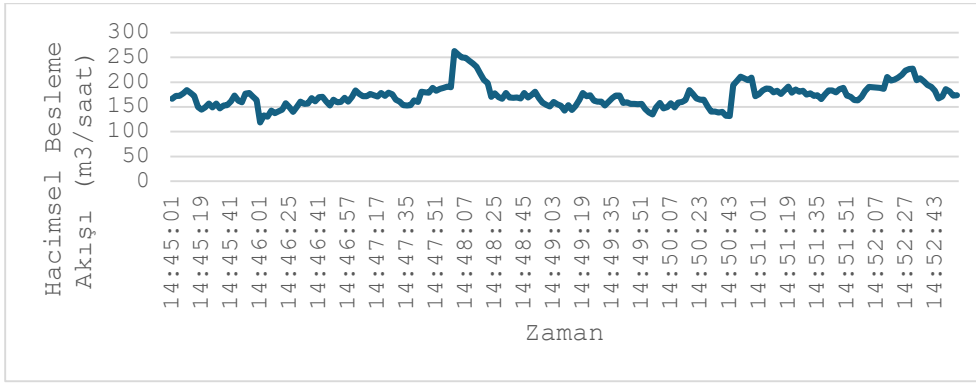
Test 5



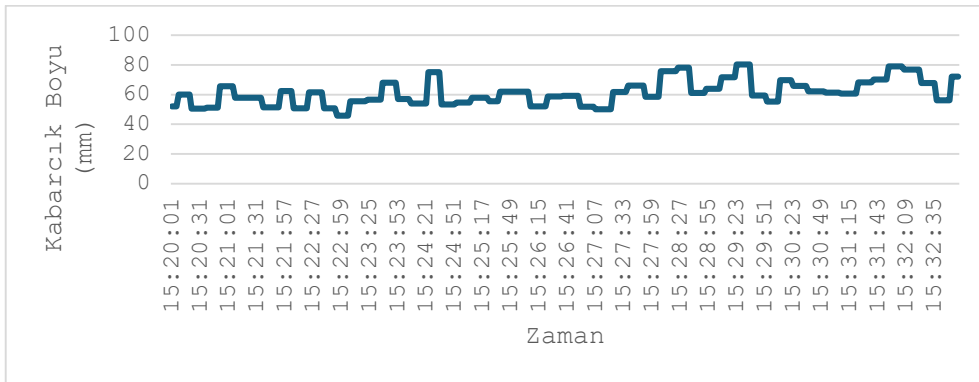
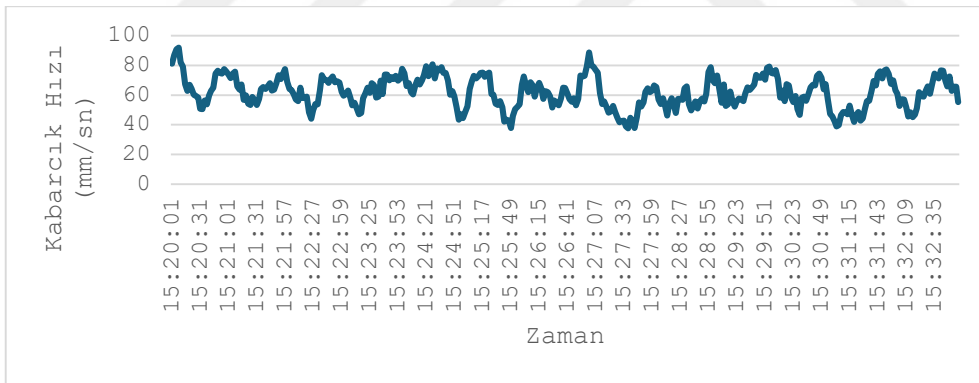
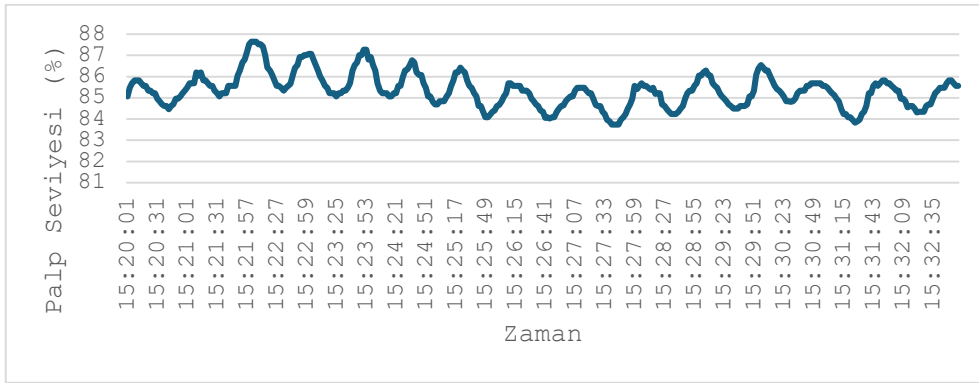
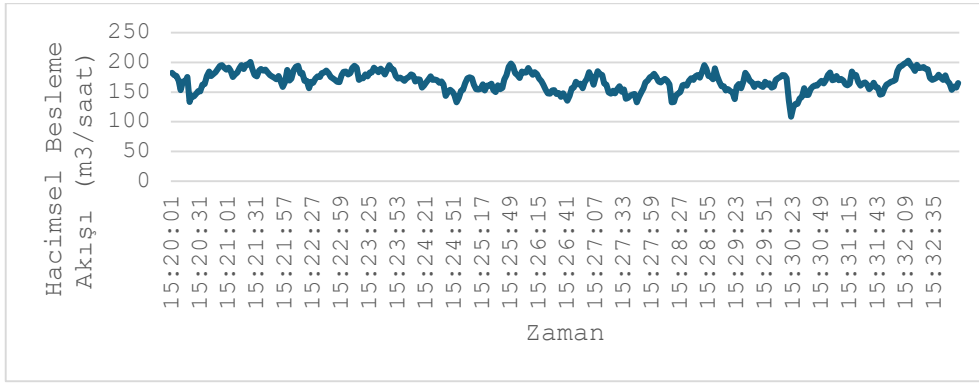
Test 6



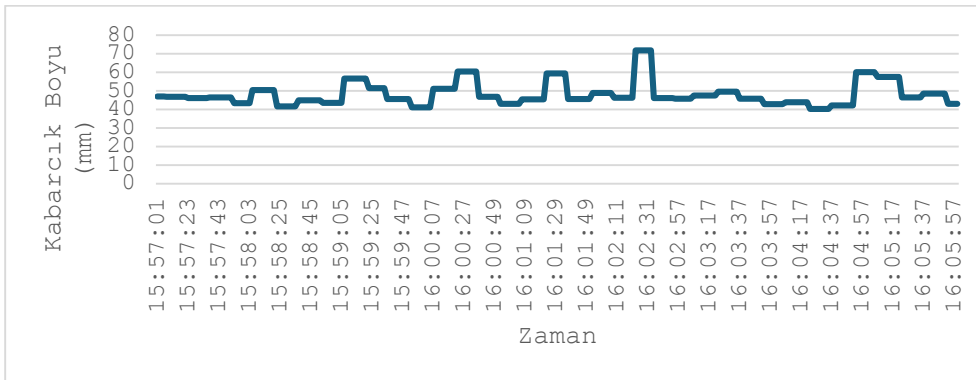
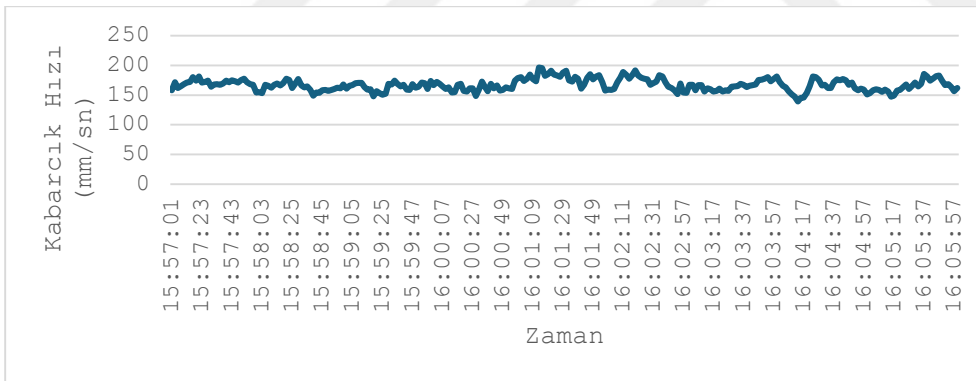
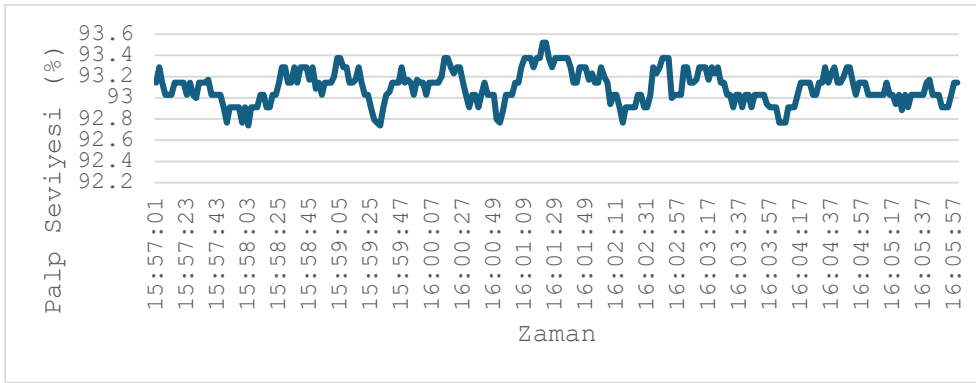
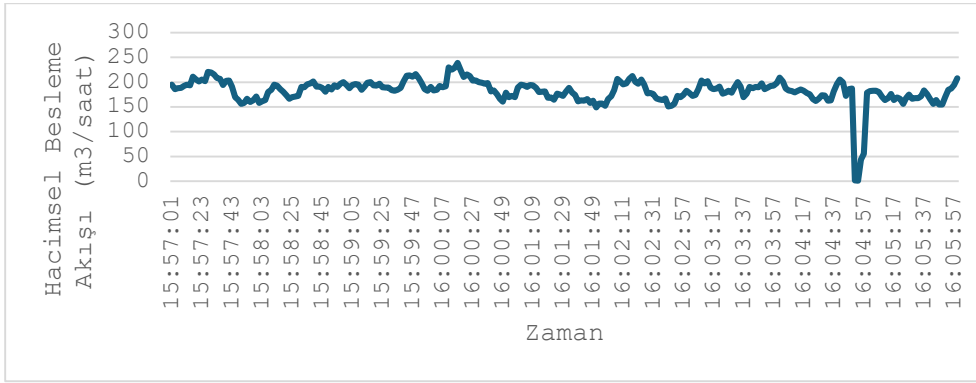
Test 7



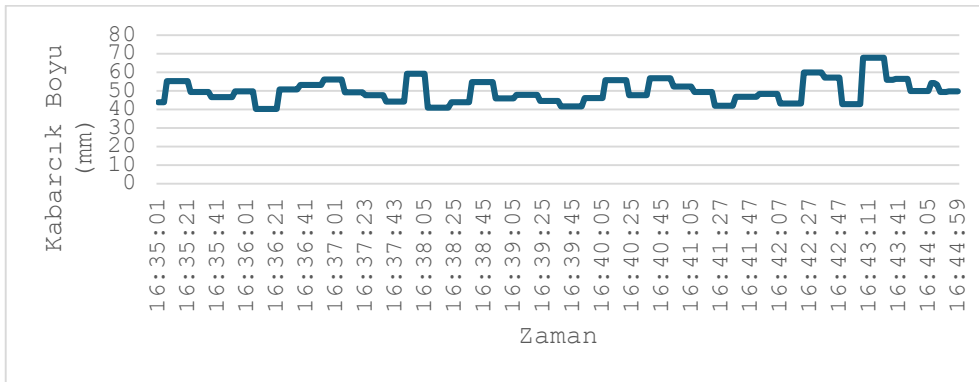
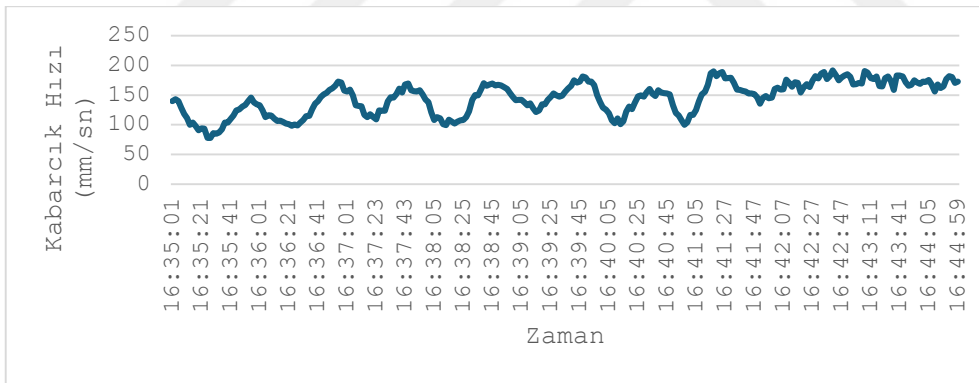
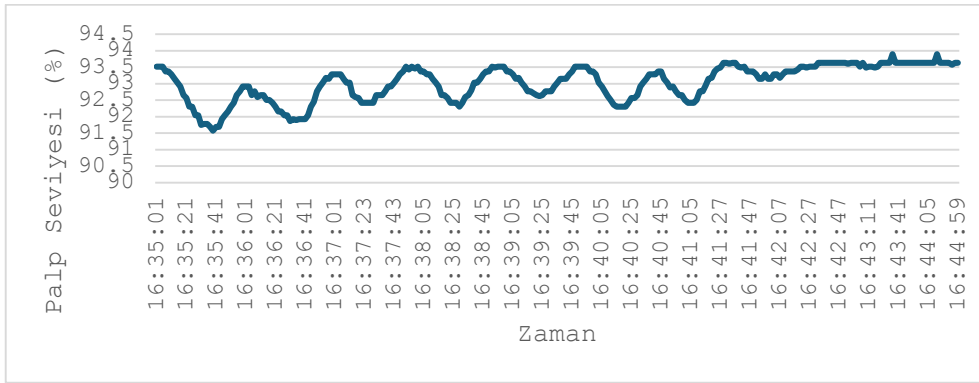
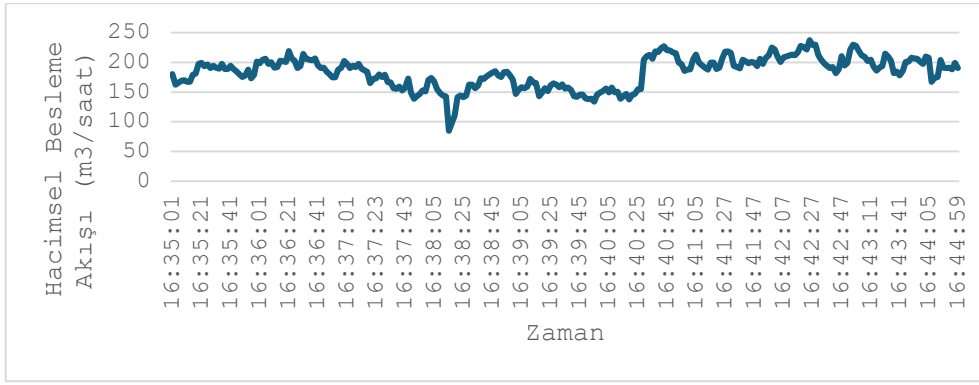
Test 8



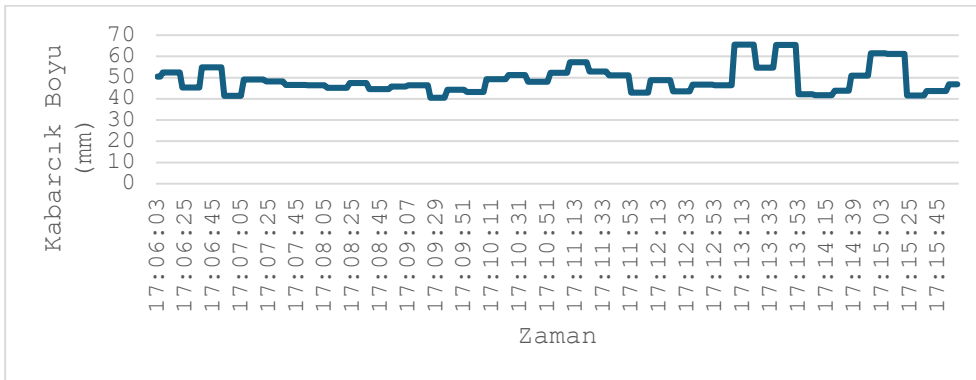
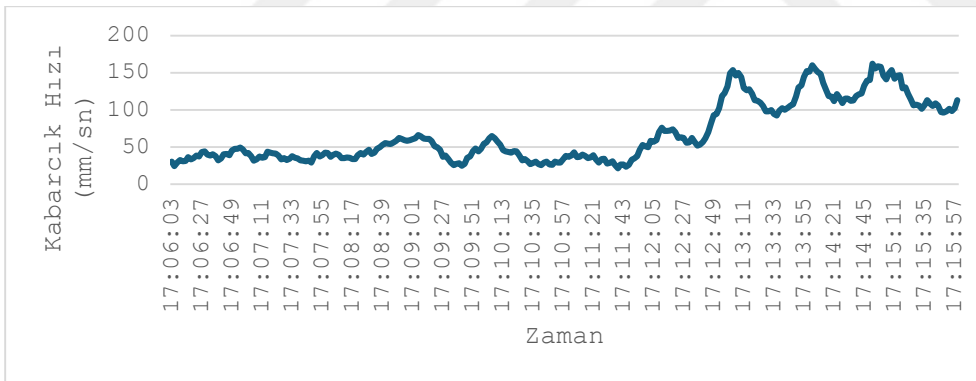
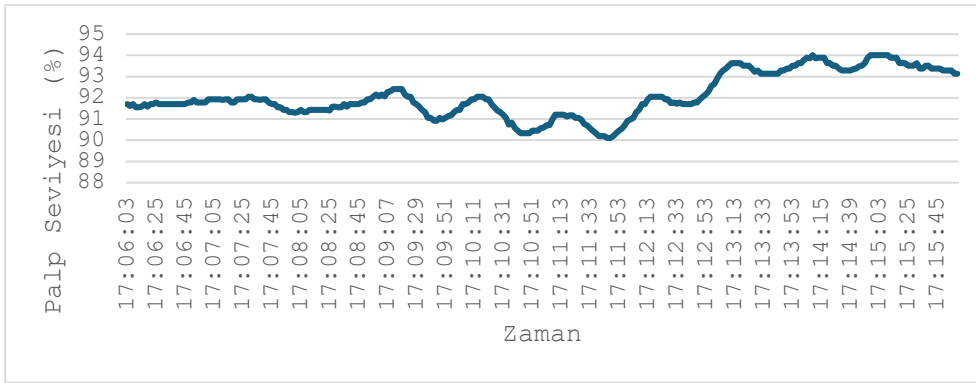
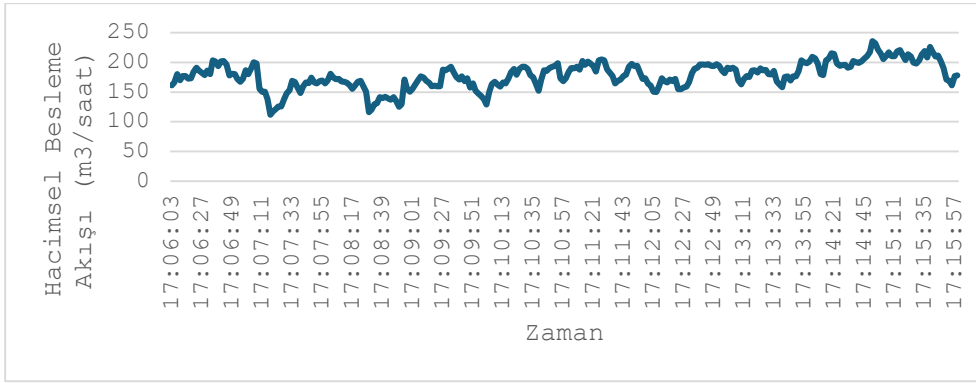
Test 9



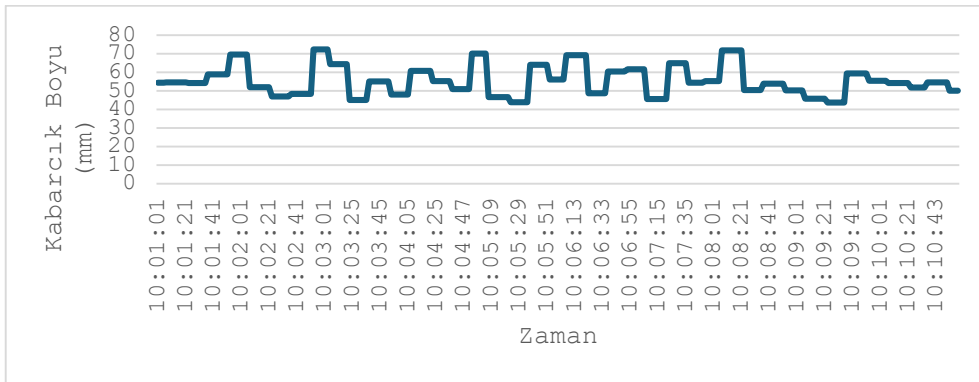
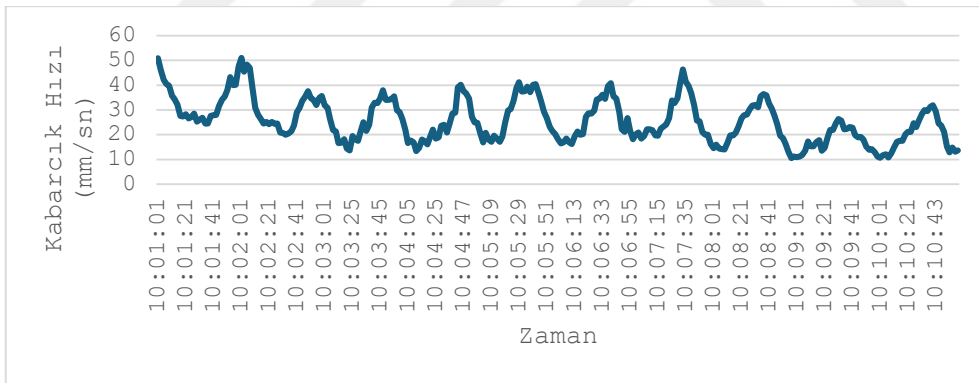
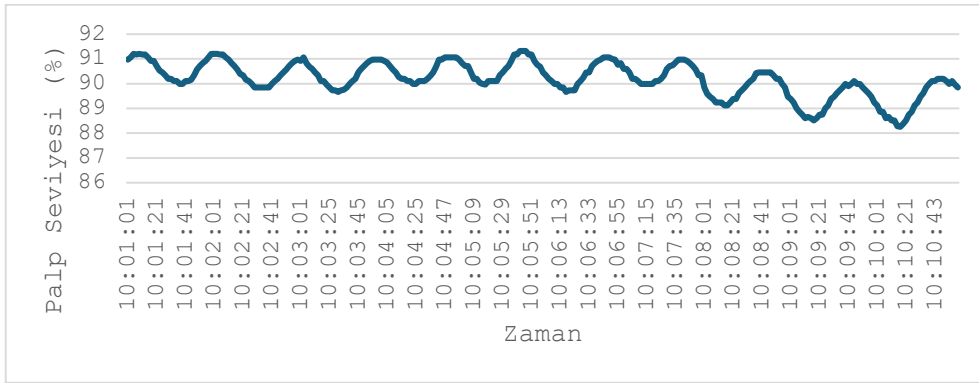
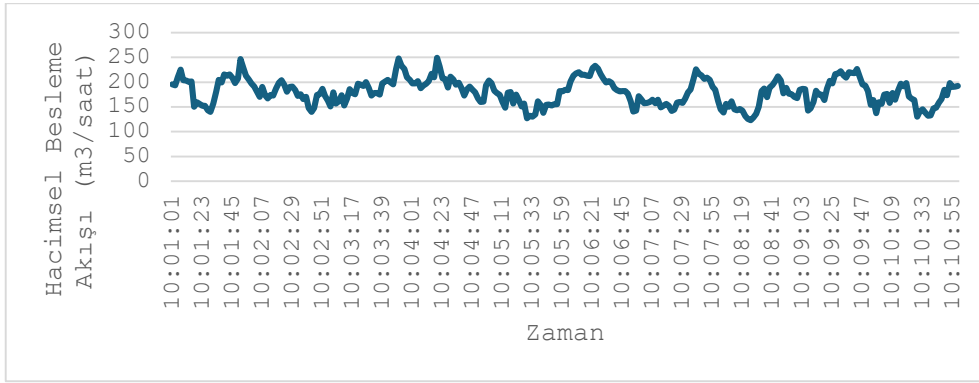
Test 10



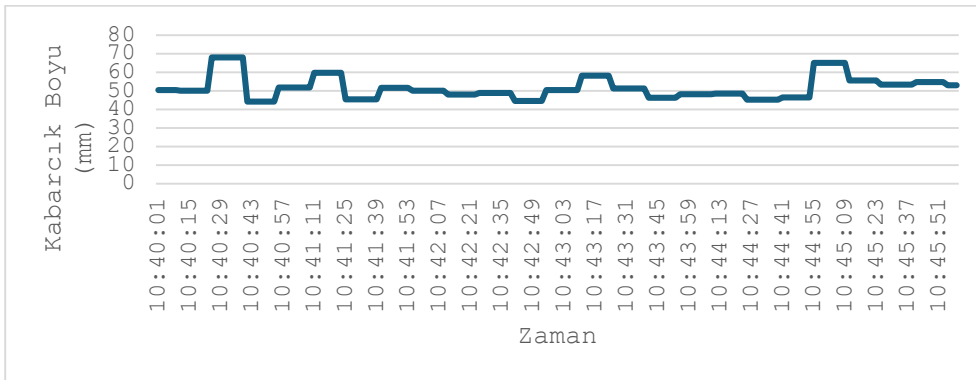
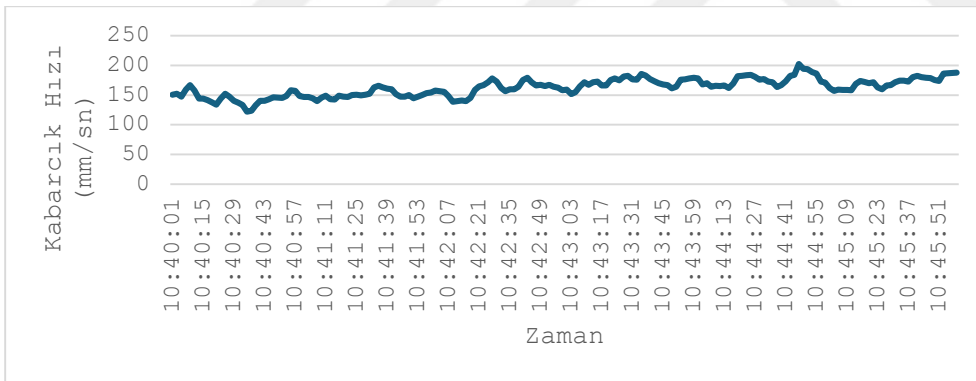
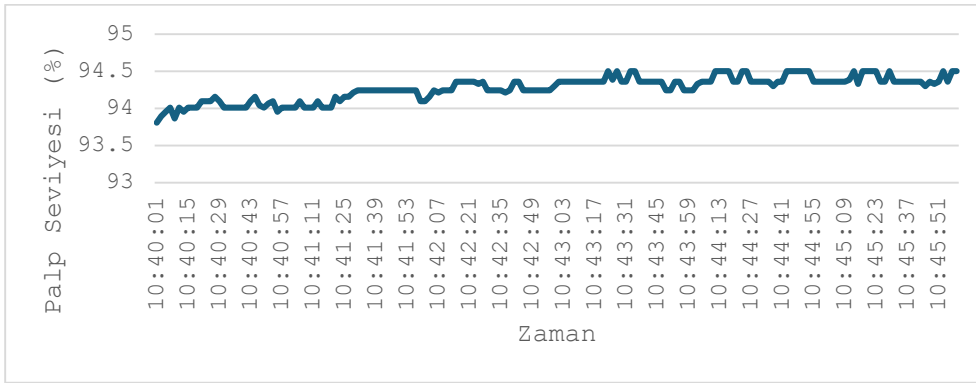
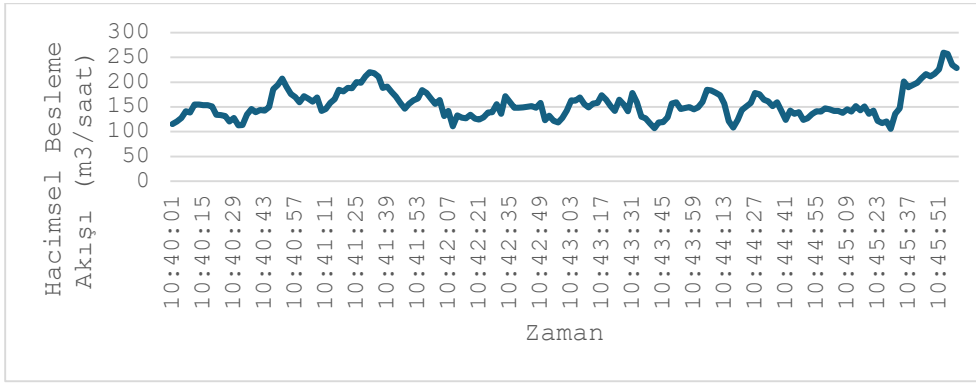
Test 11



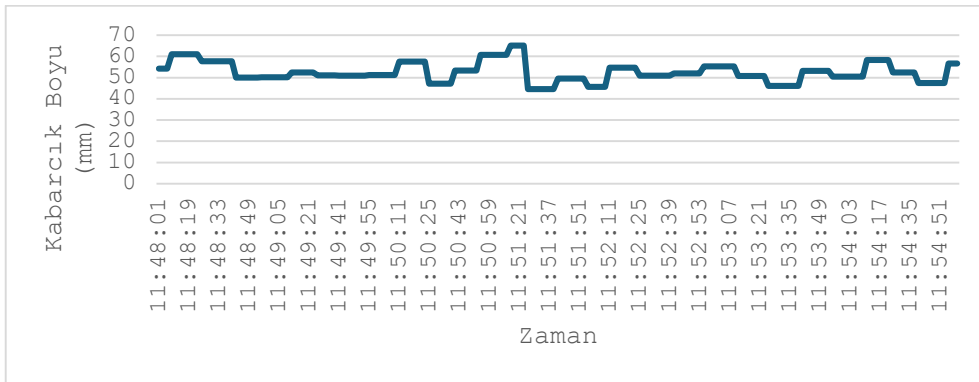
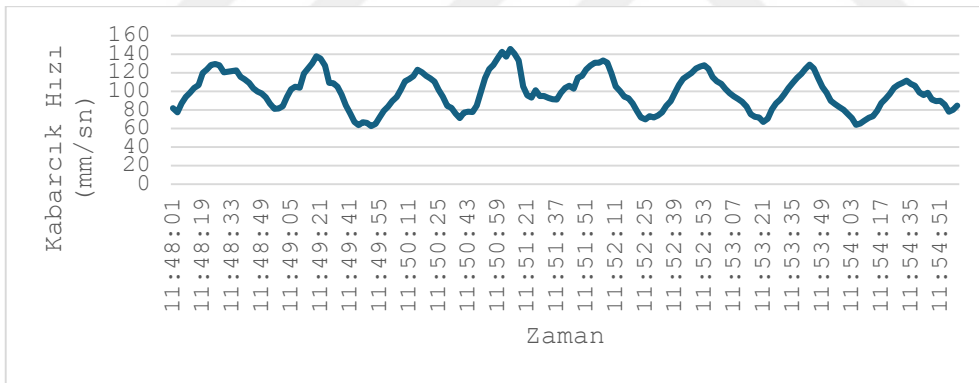
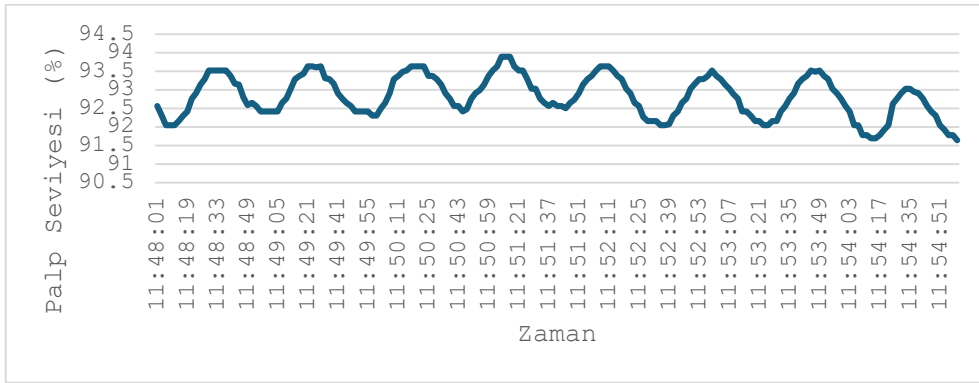
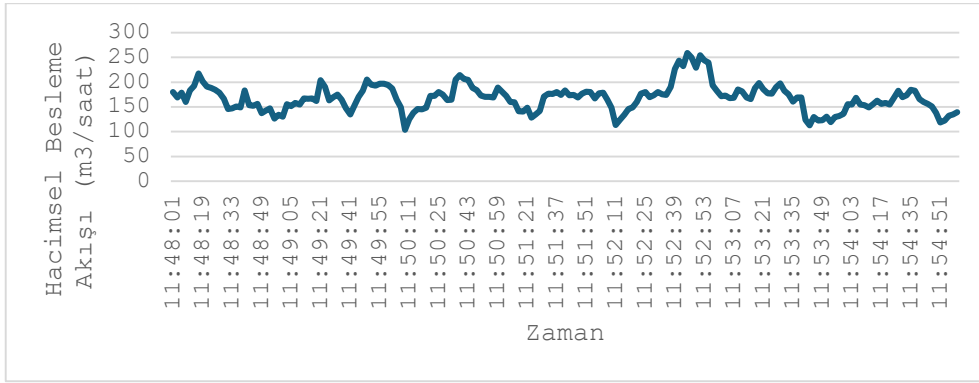
Test 12



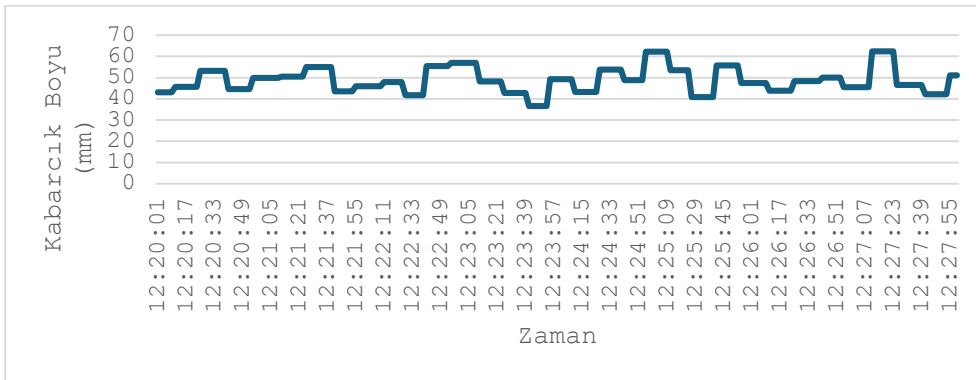
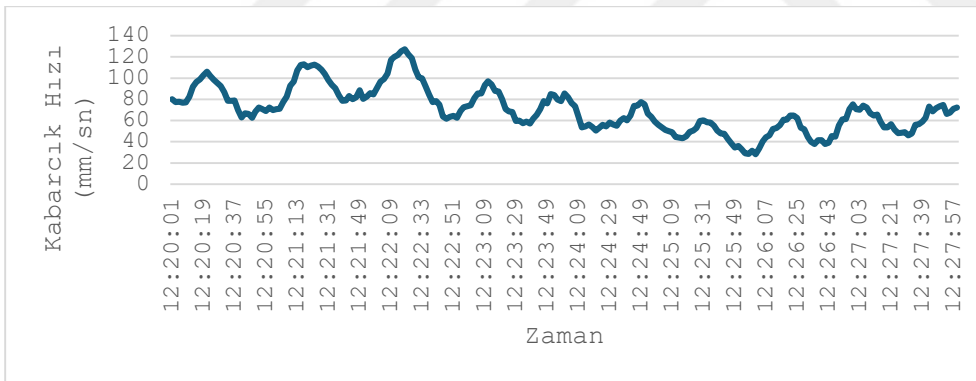
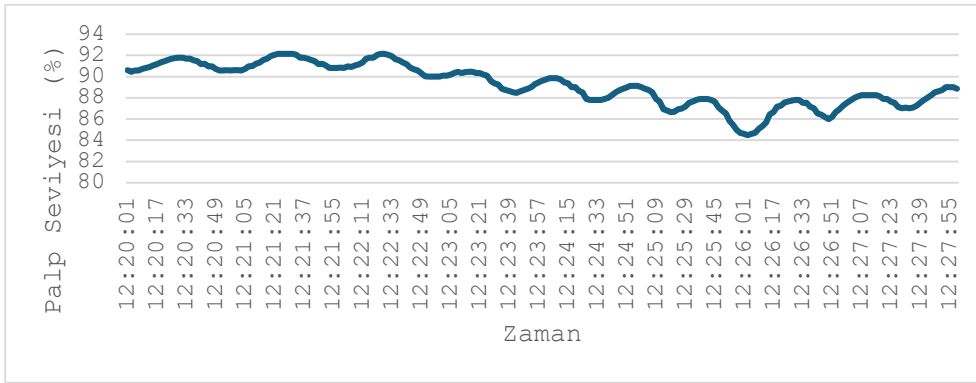
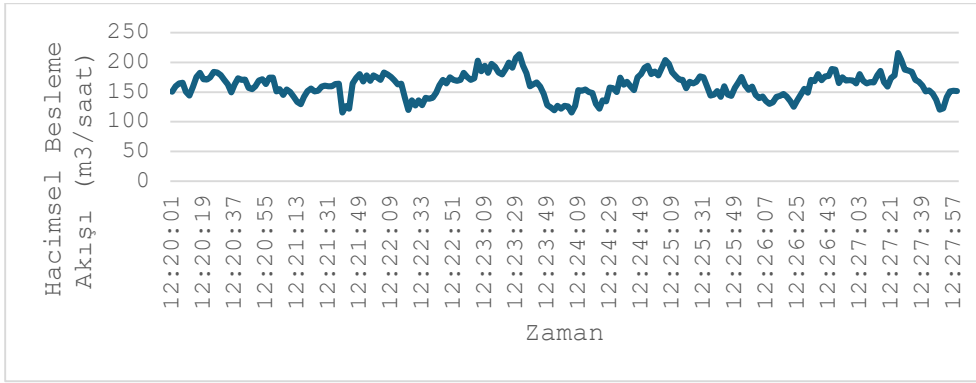
Test 13



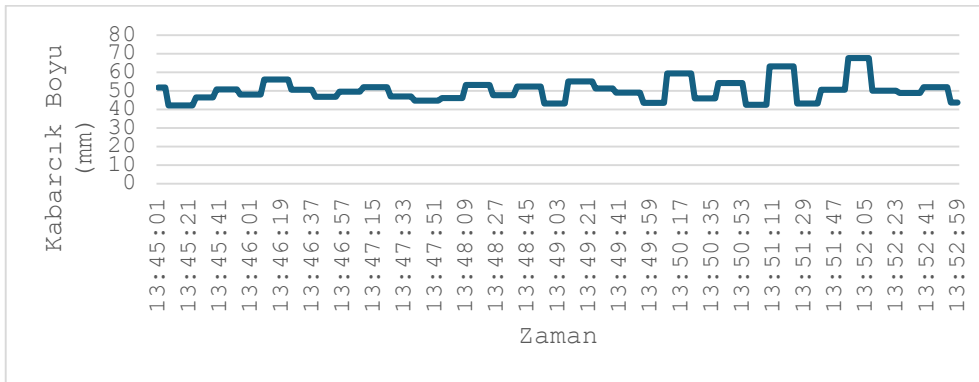
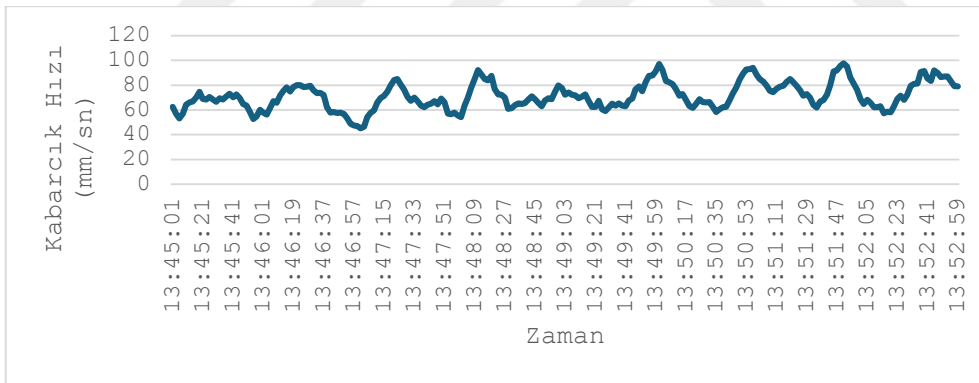
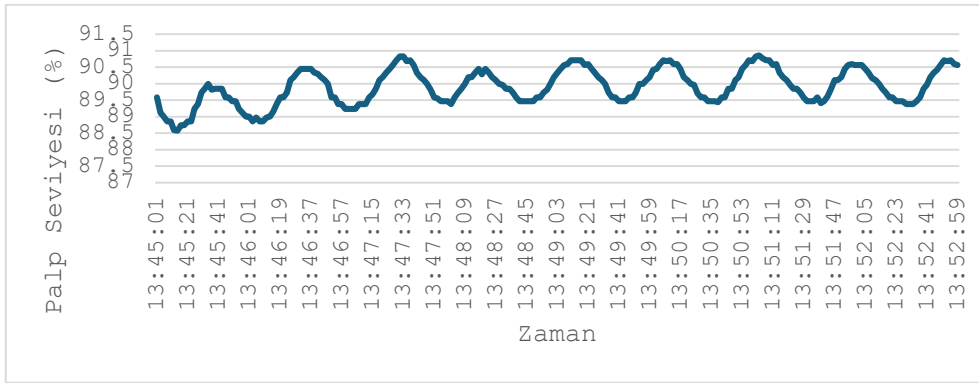
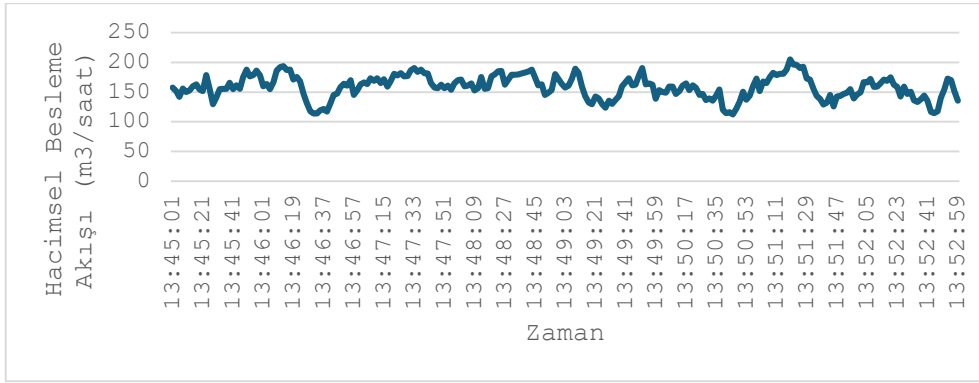
Test 14



Test 15

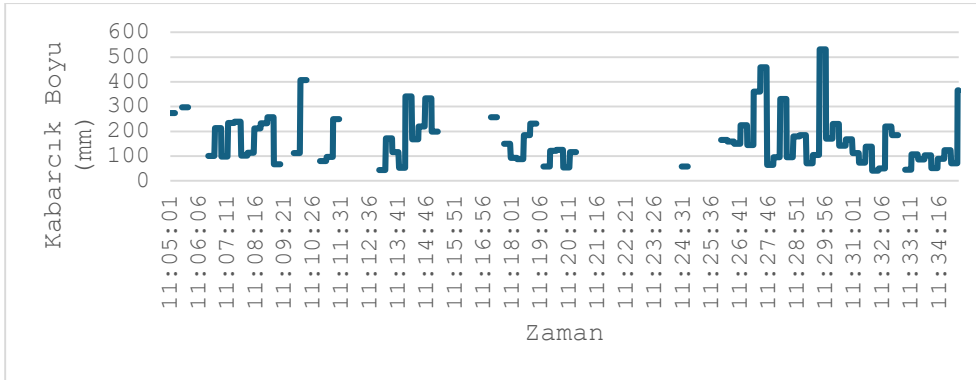
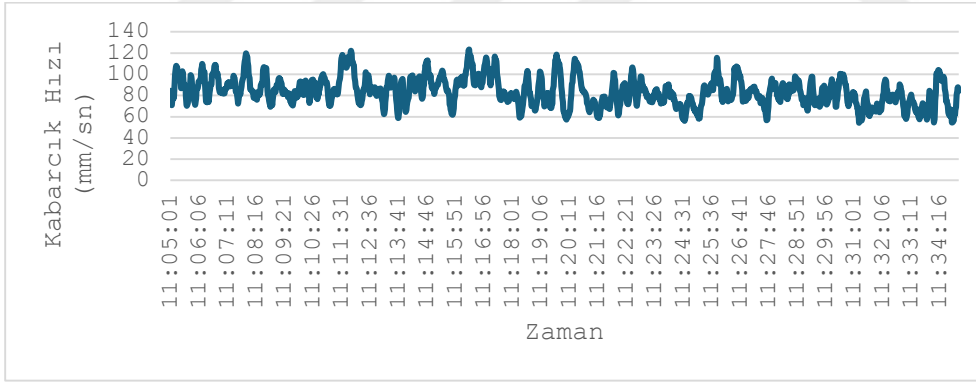
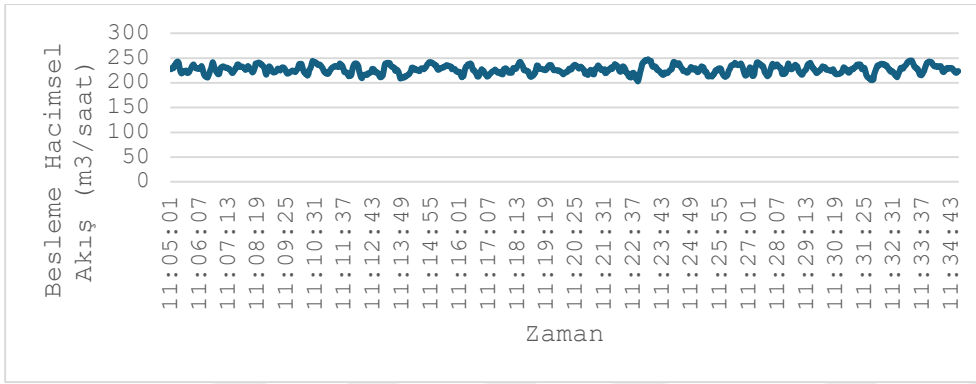
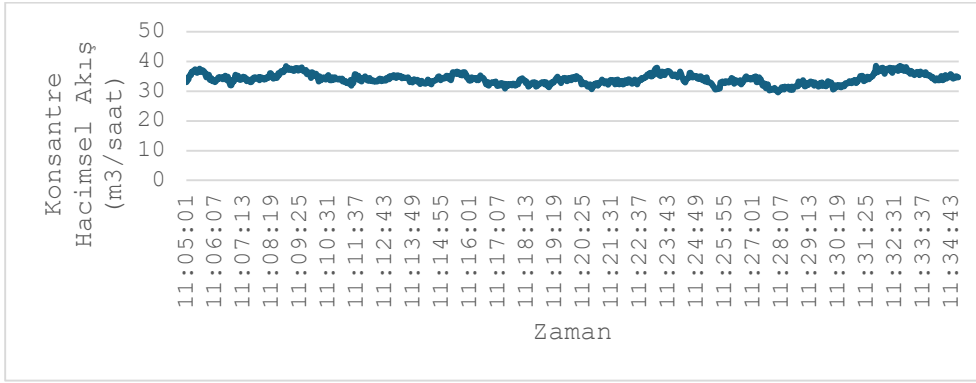


Test 16

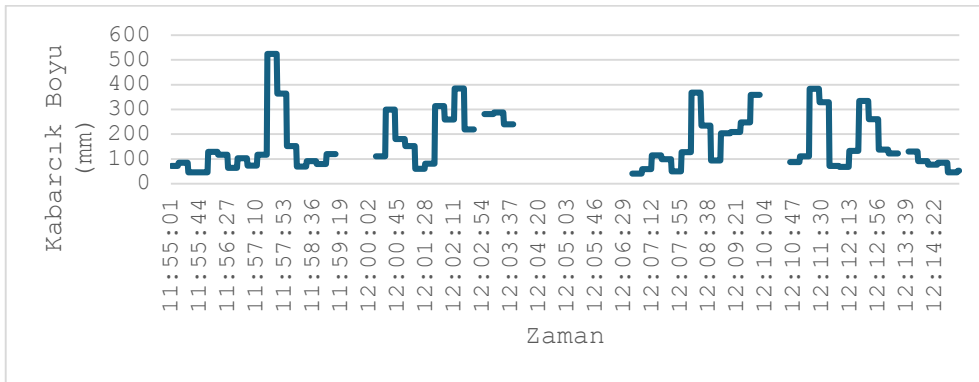
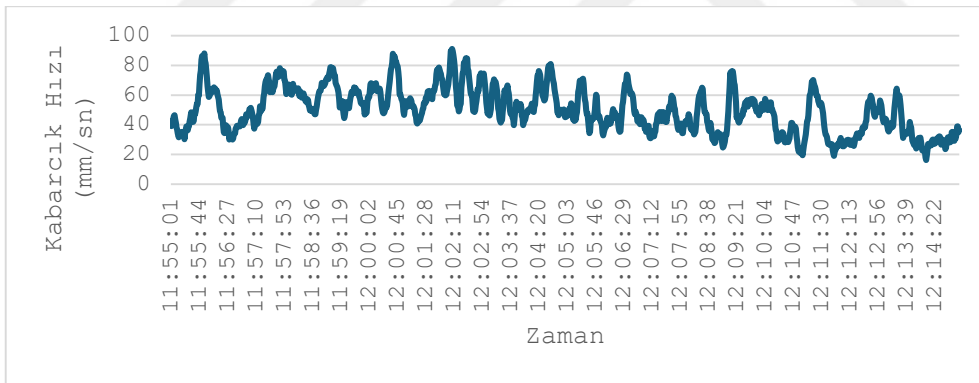
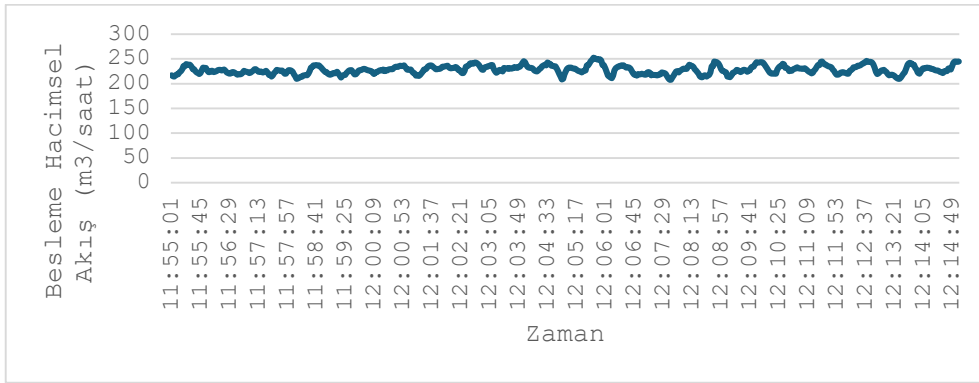
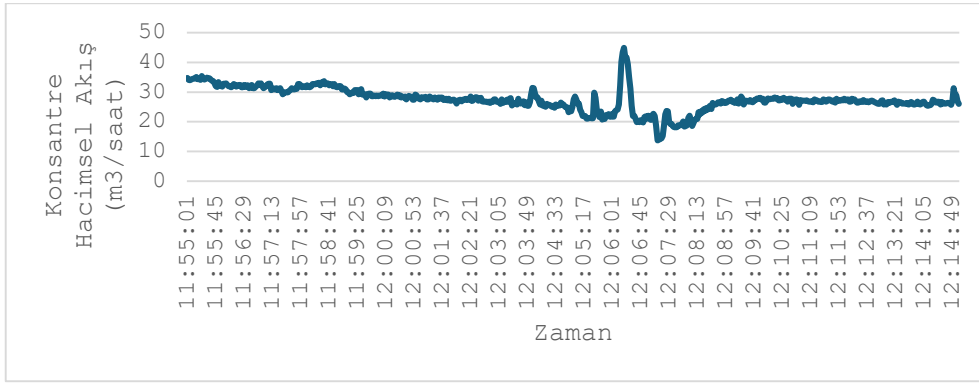


Kaba Flotasyon Devresi Birinci Hücre

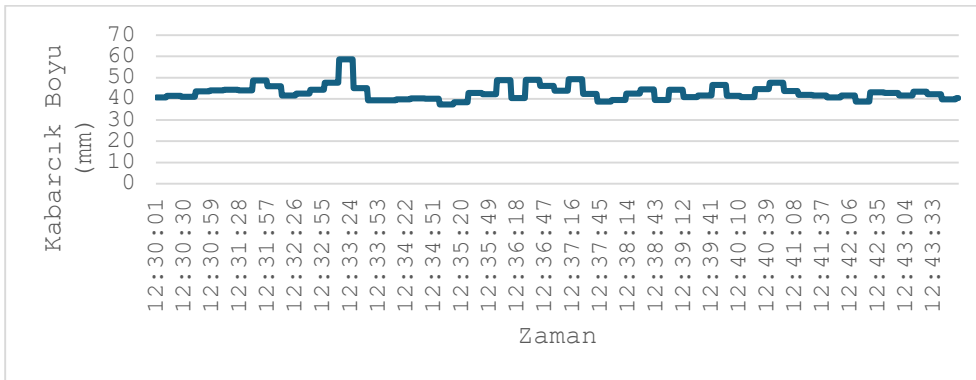
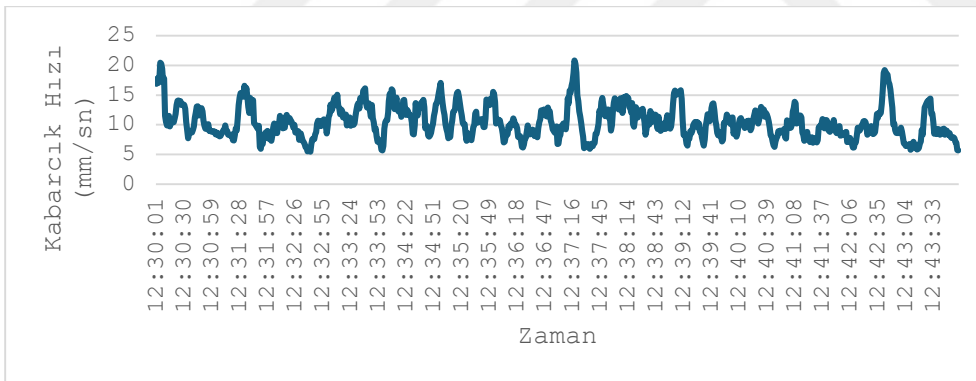
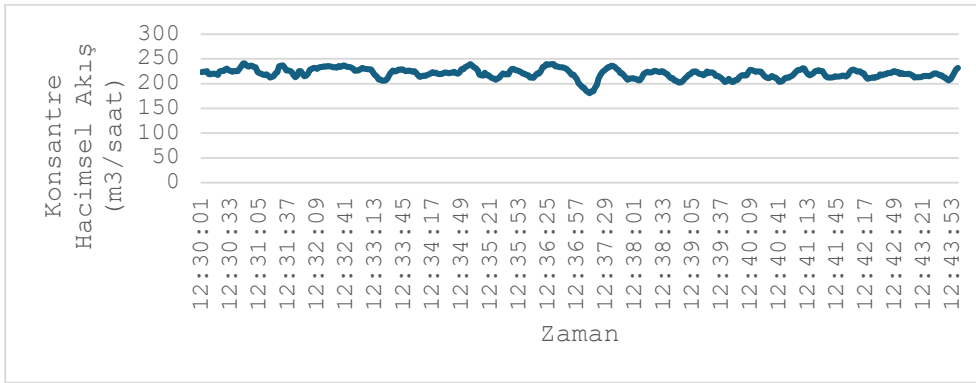
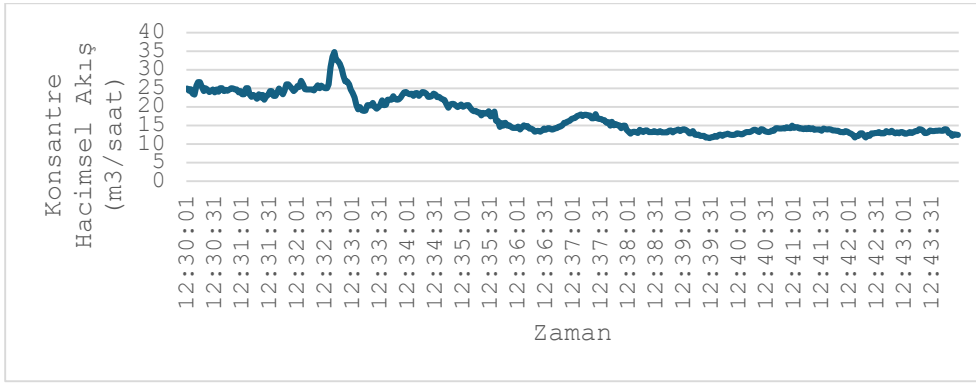
Test 1



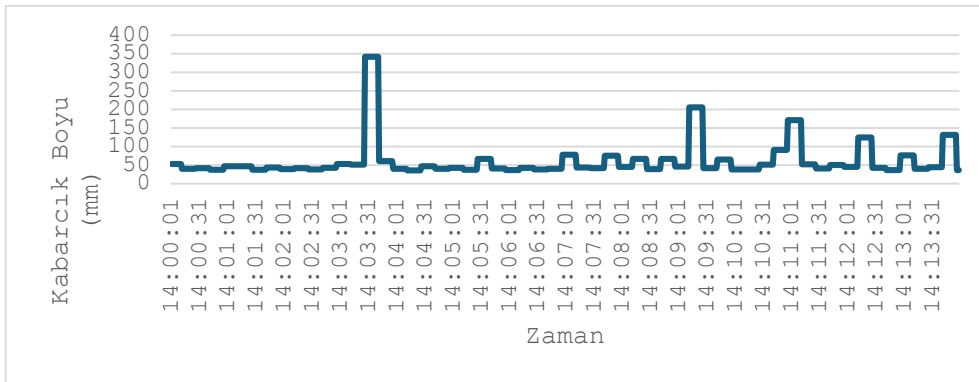
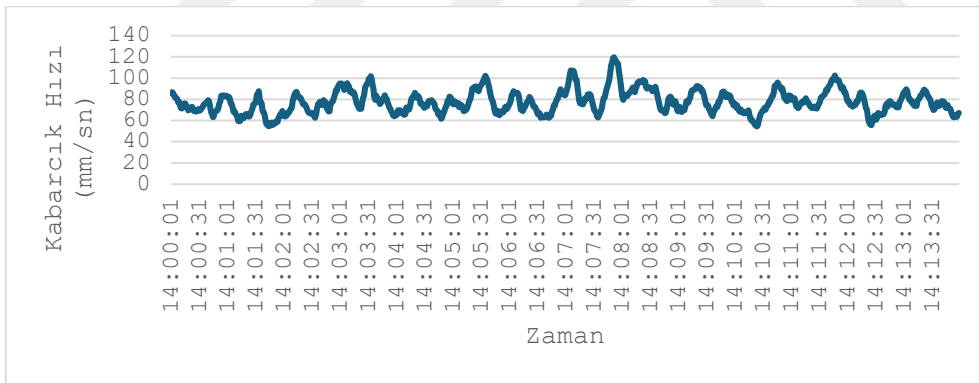
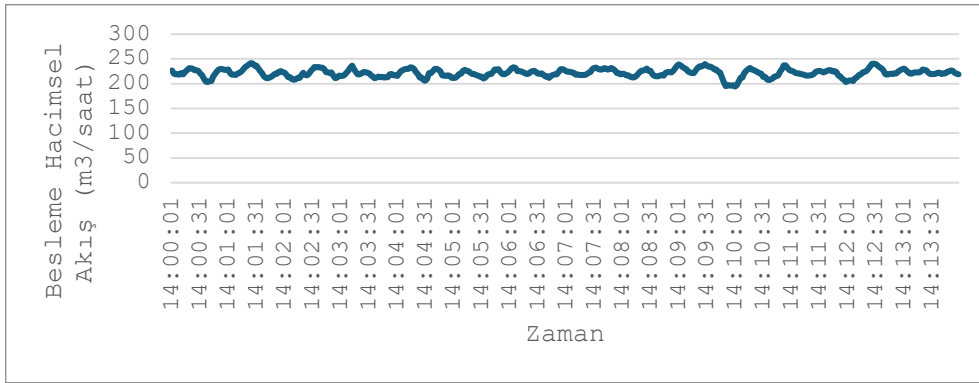
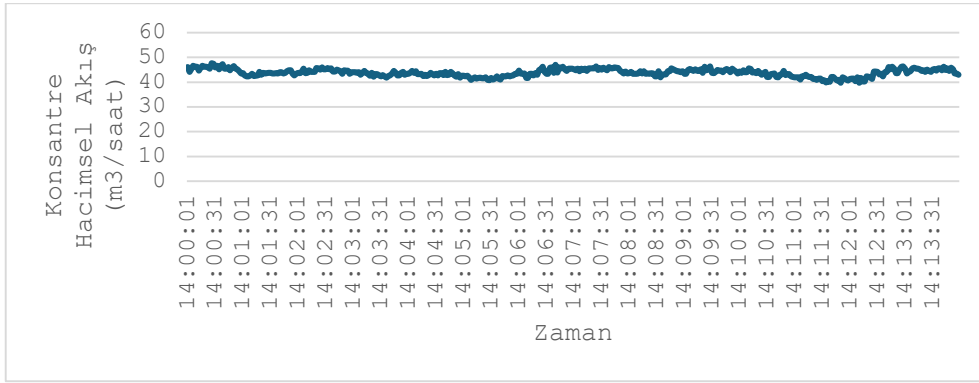
Test 2



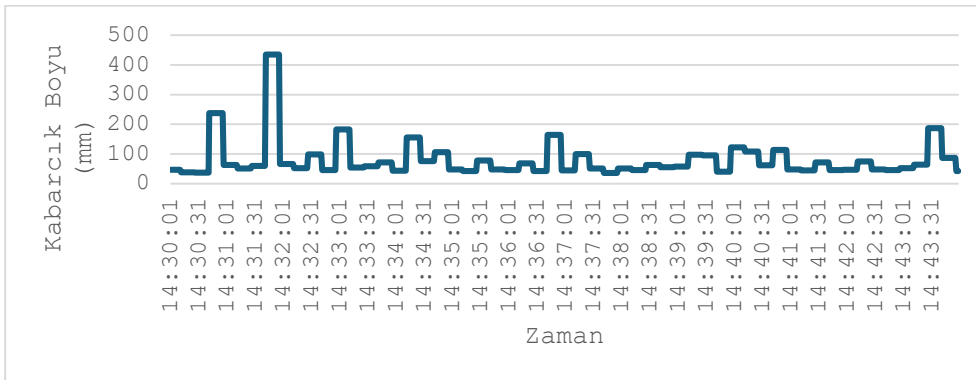
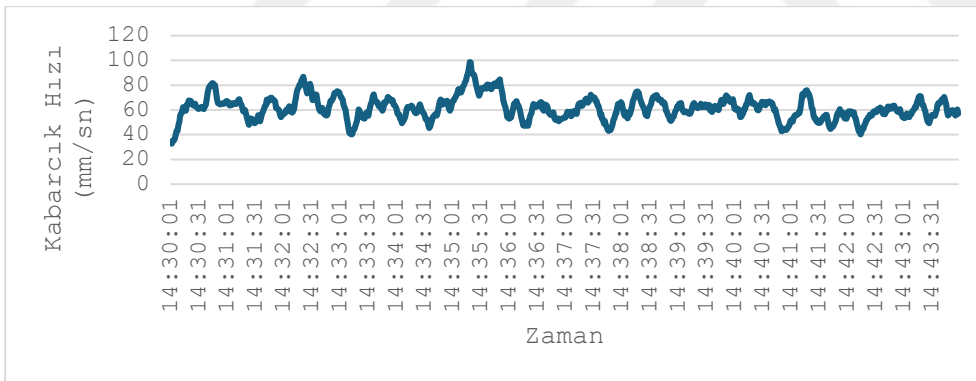
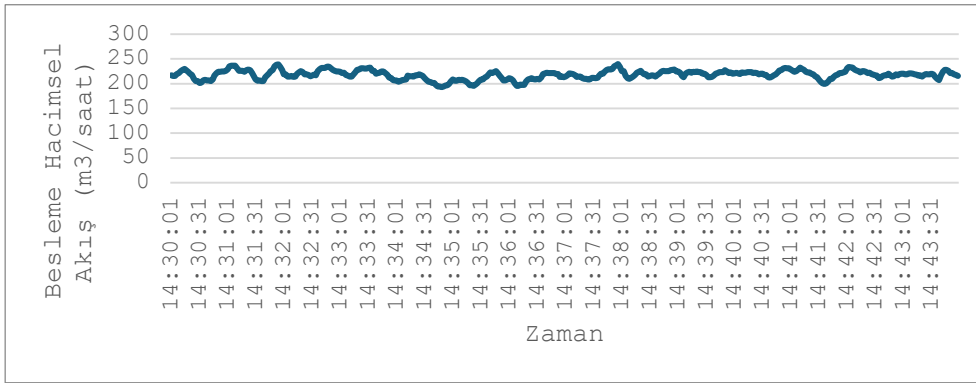
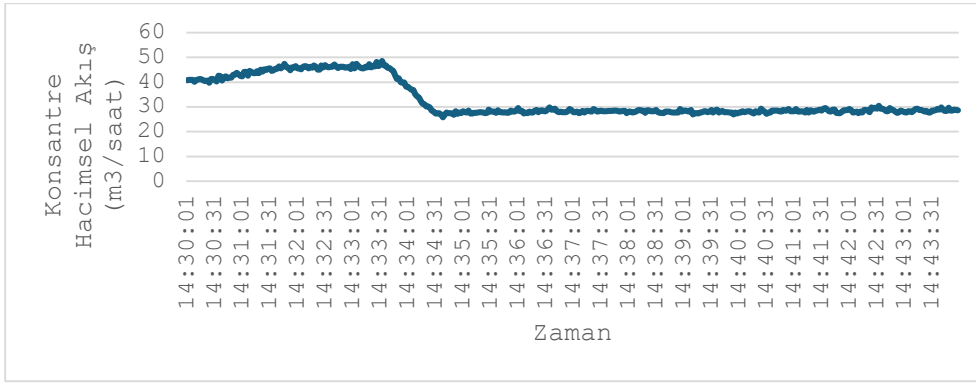
Test 3



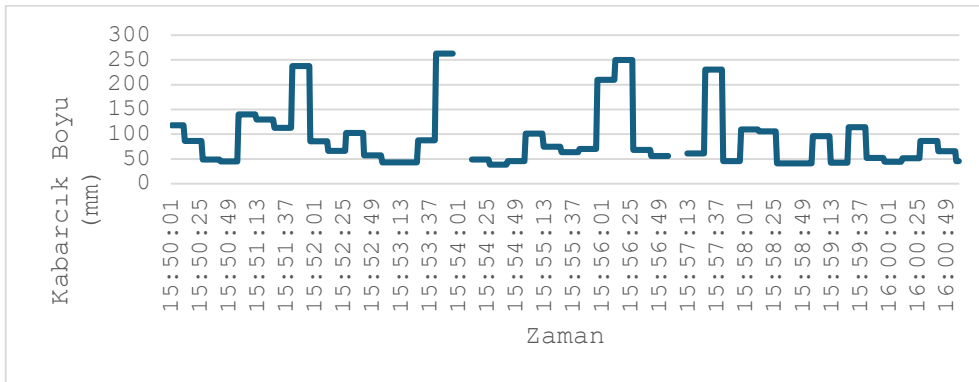
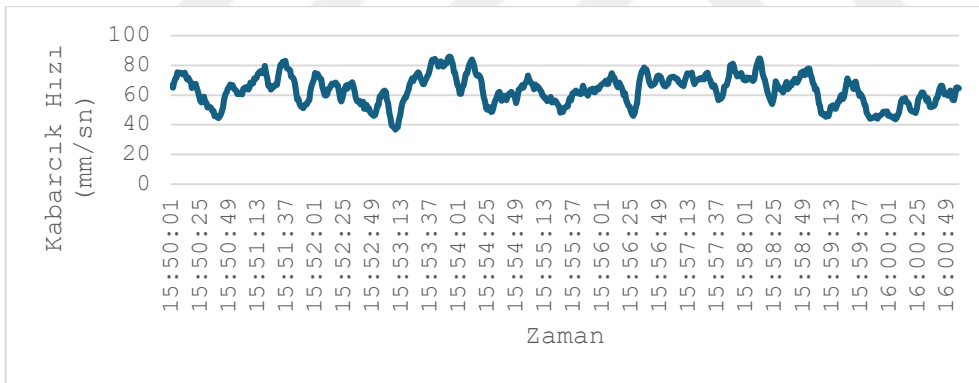
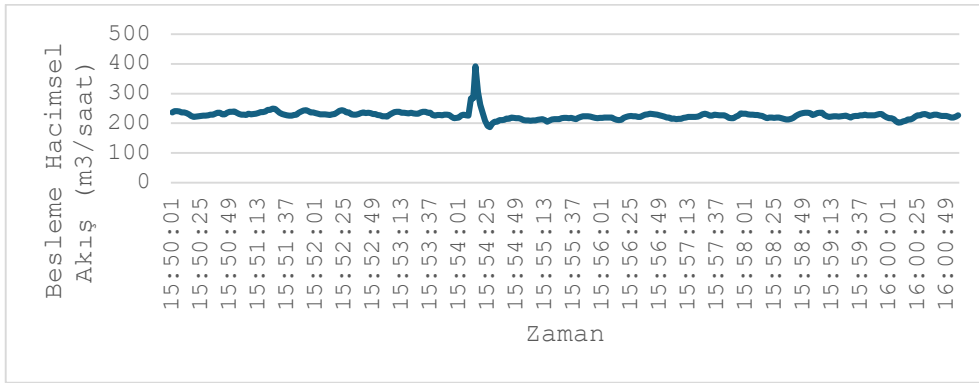
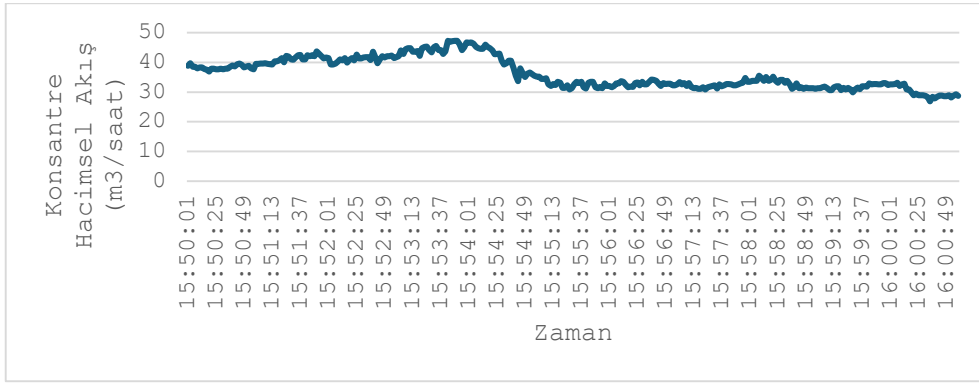
Test 4



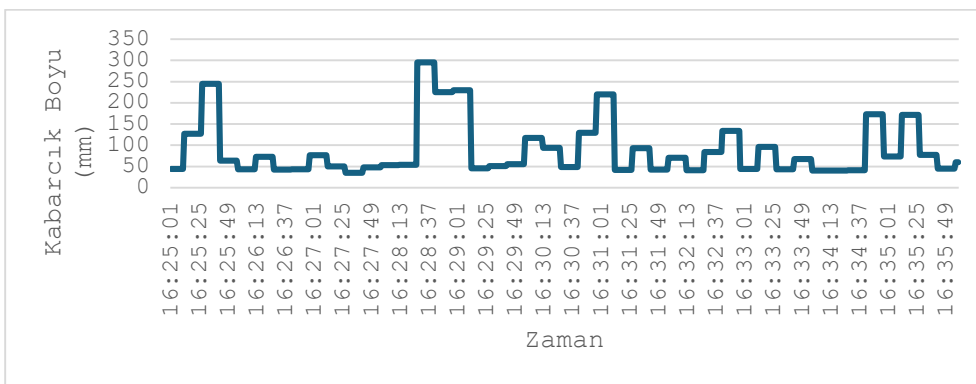
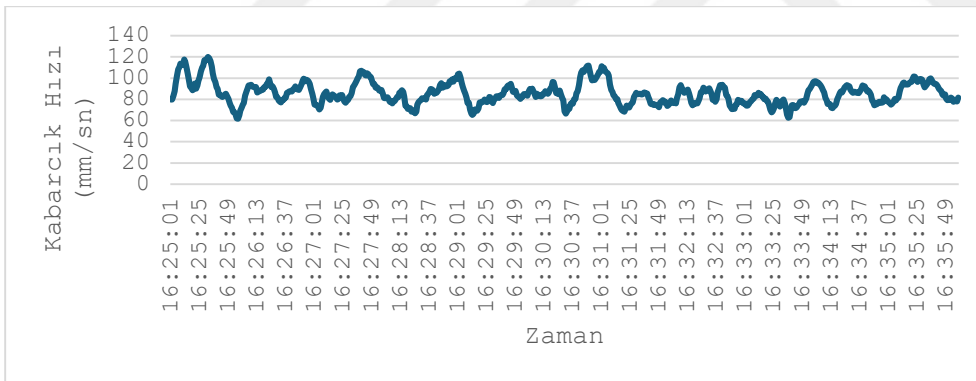
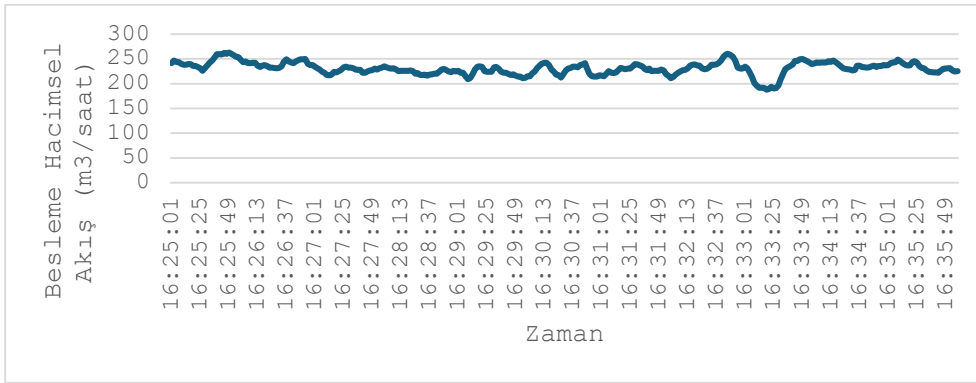
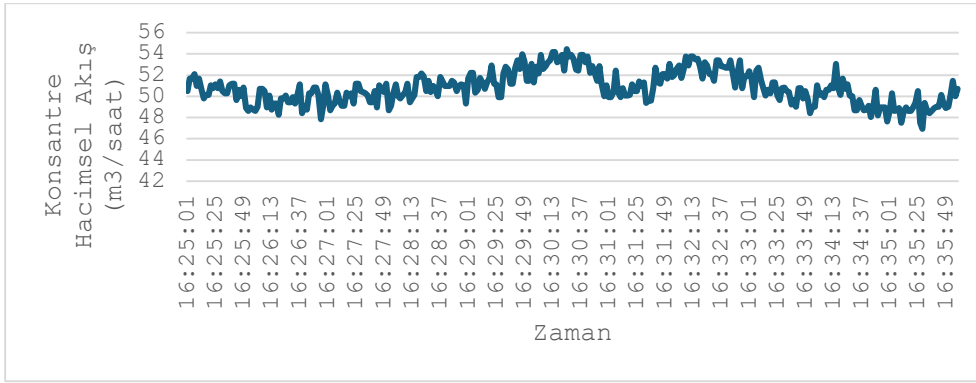
Test 5



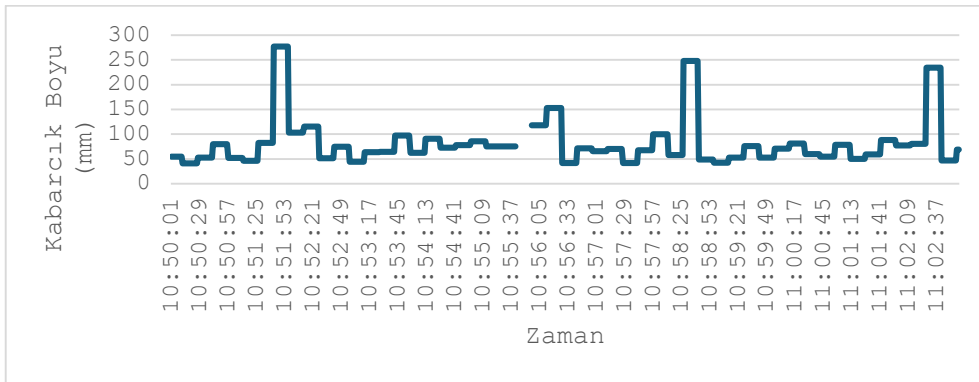
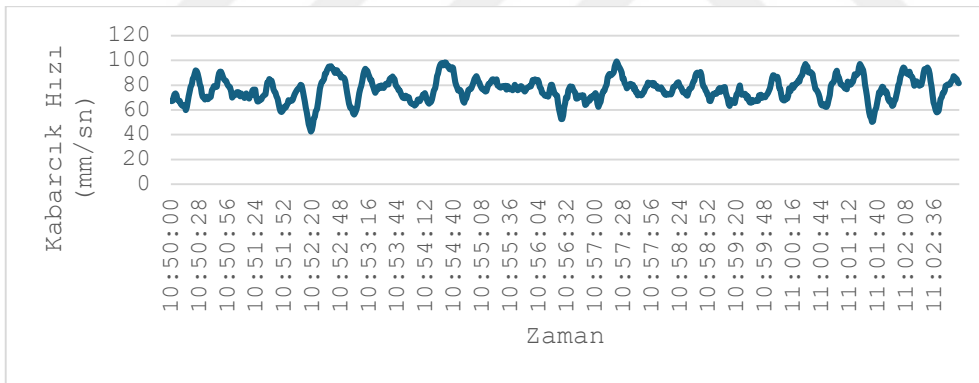
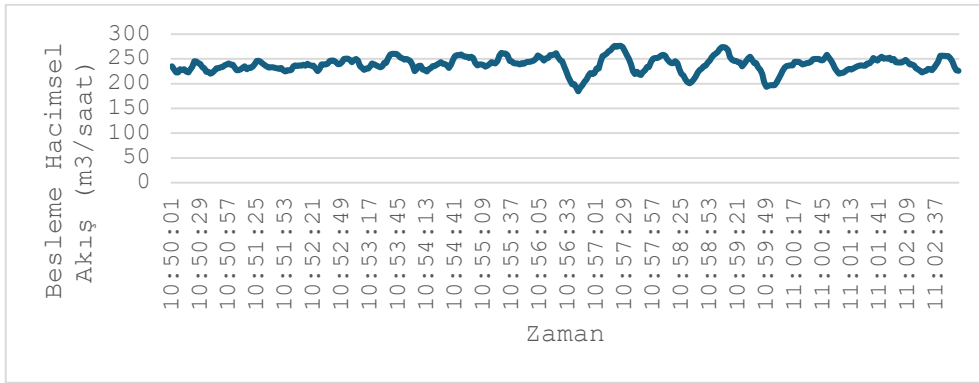
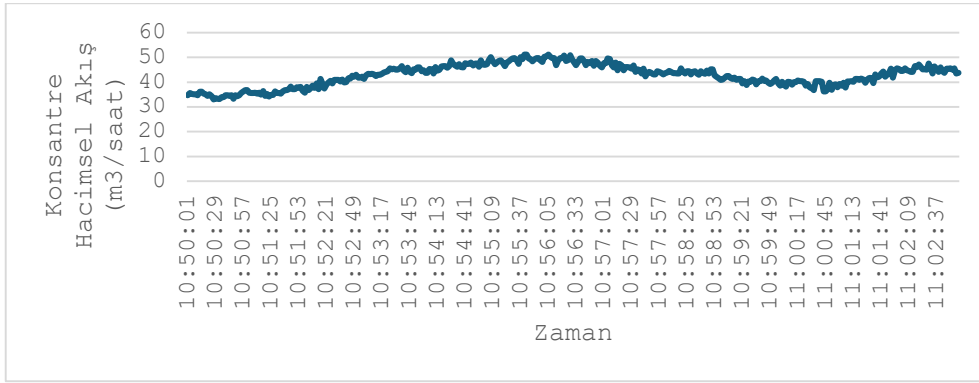
Test 6



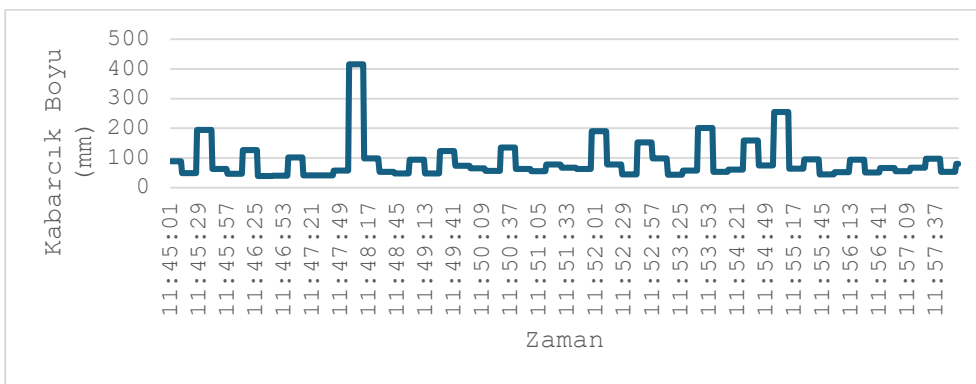
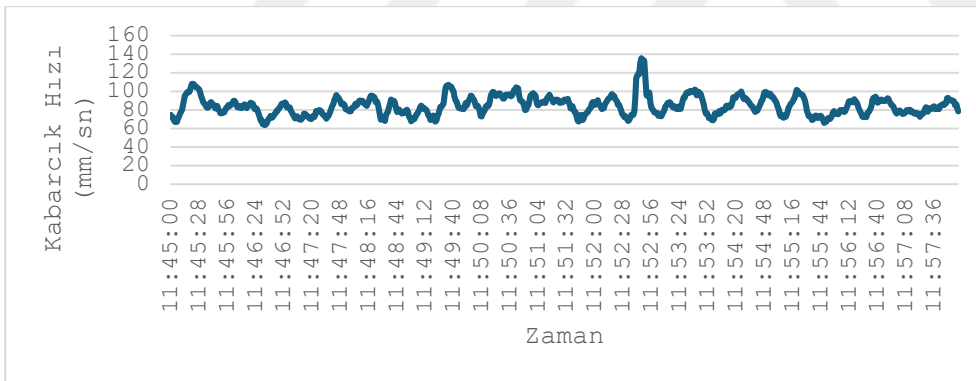
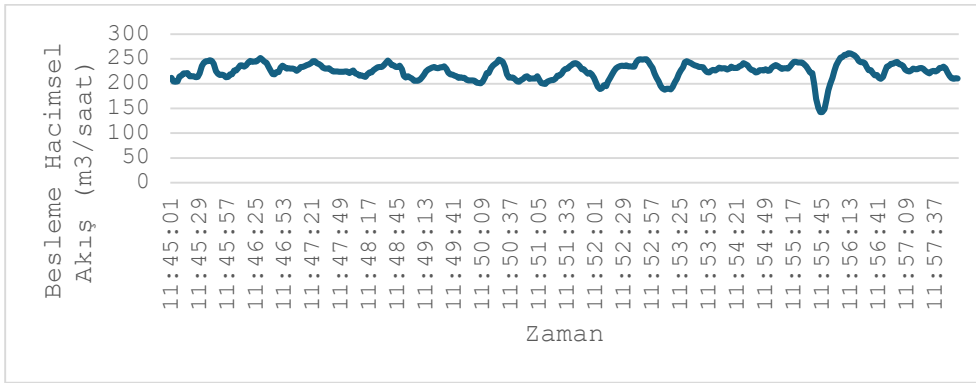
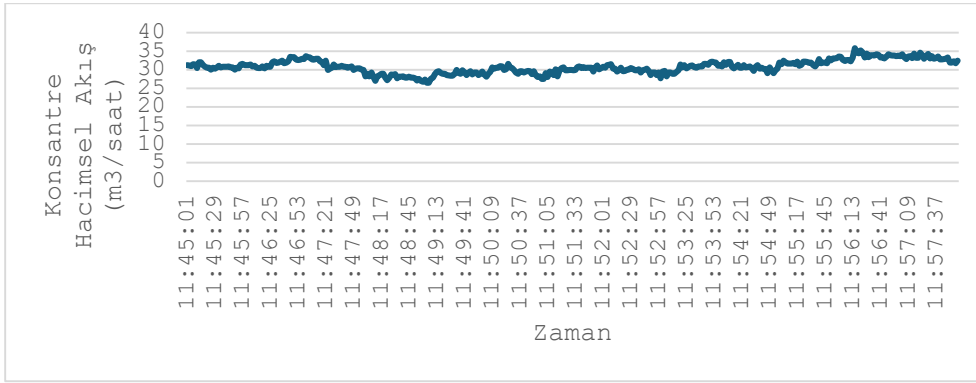
Test 7



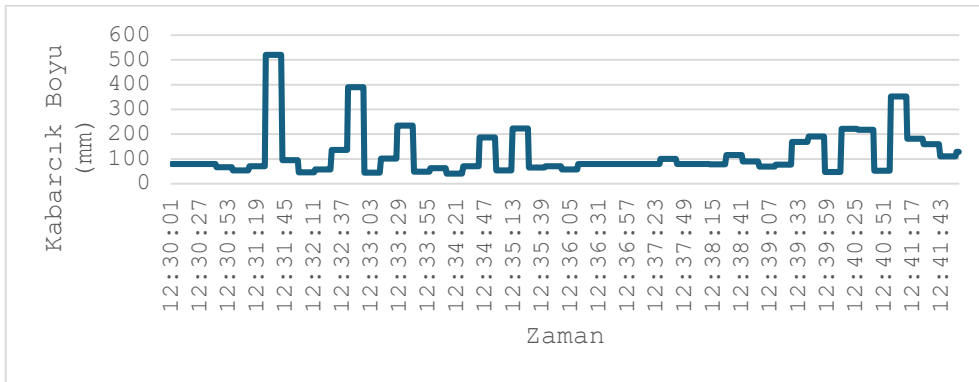
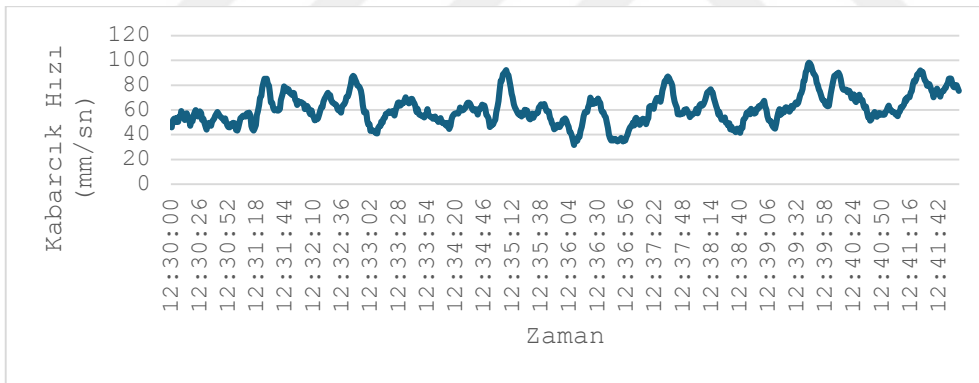
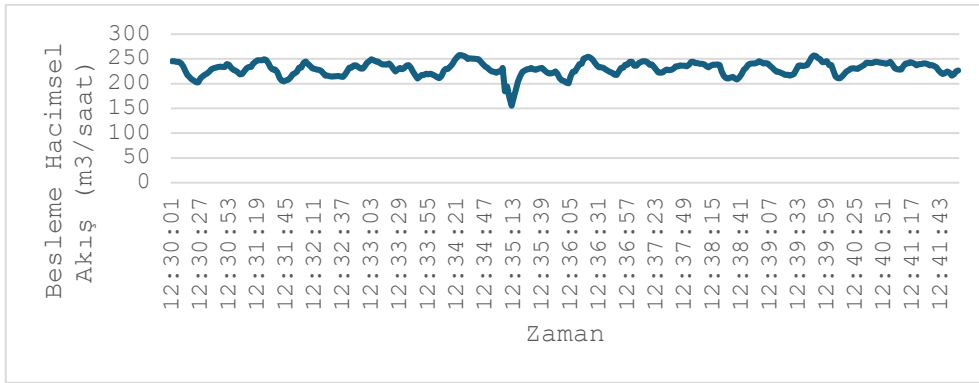
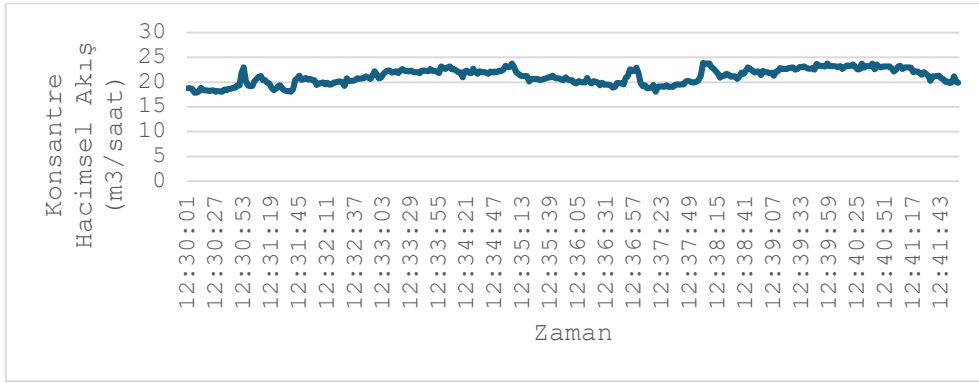
Test 8



Test 9

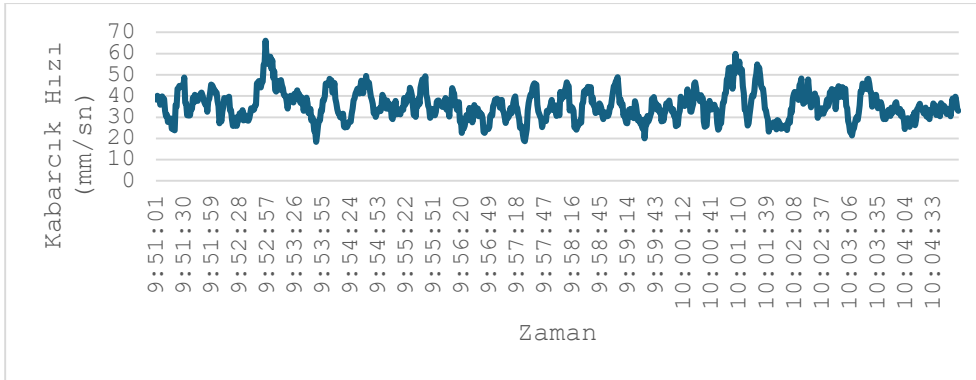
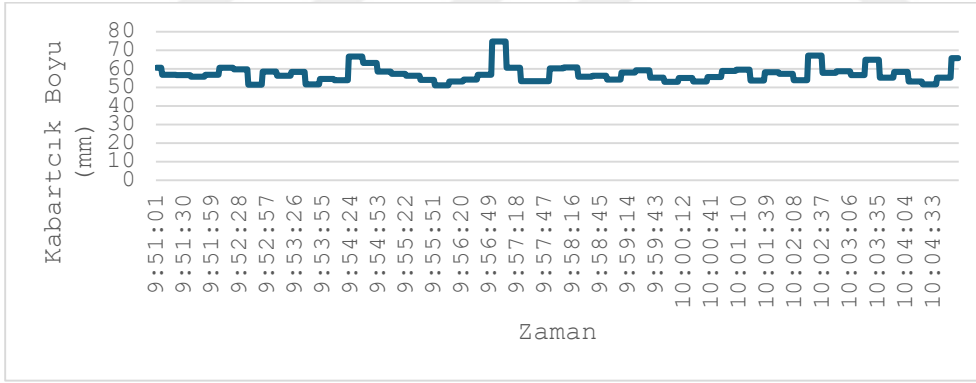
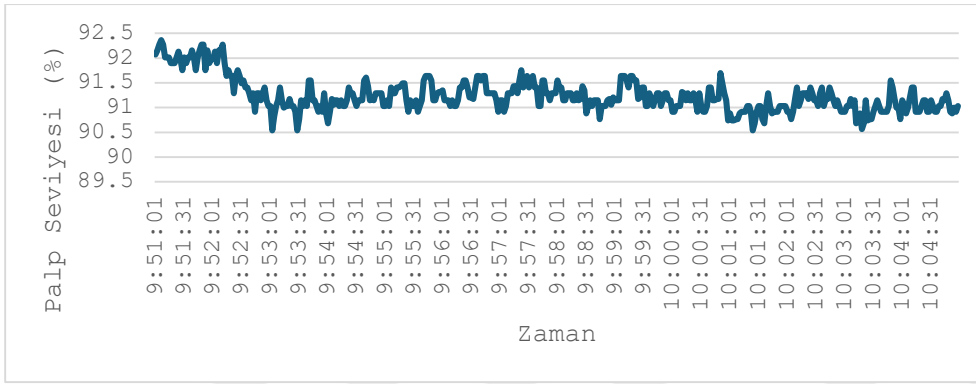
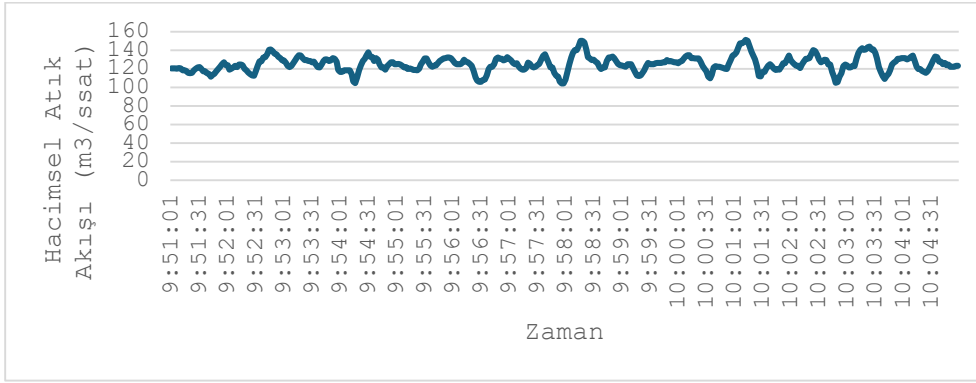


Test 10

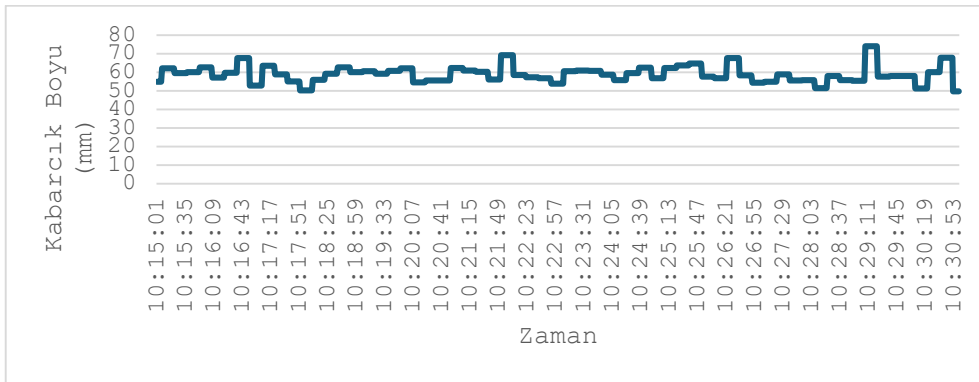
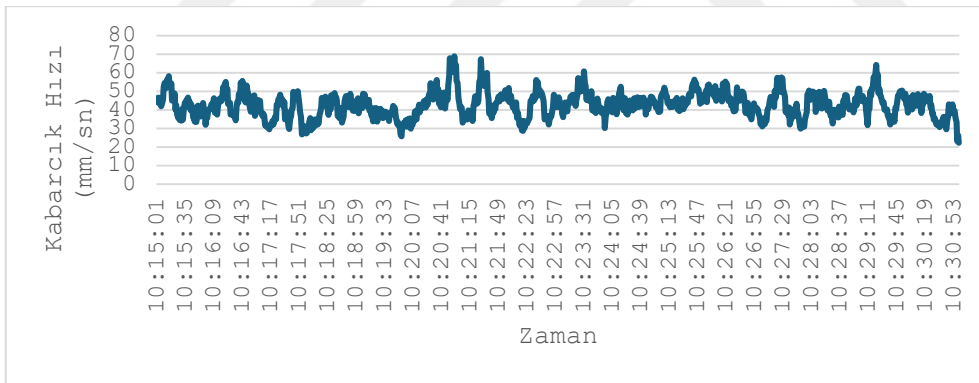
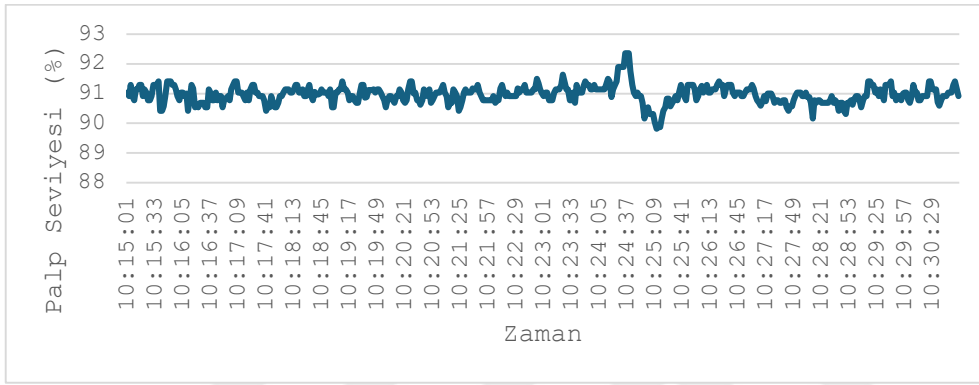
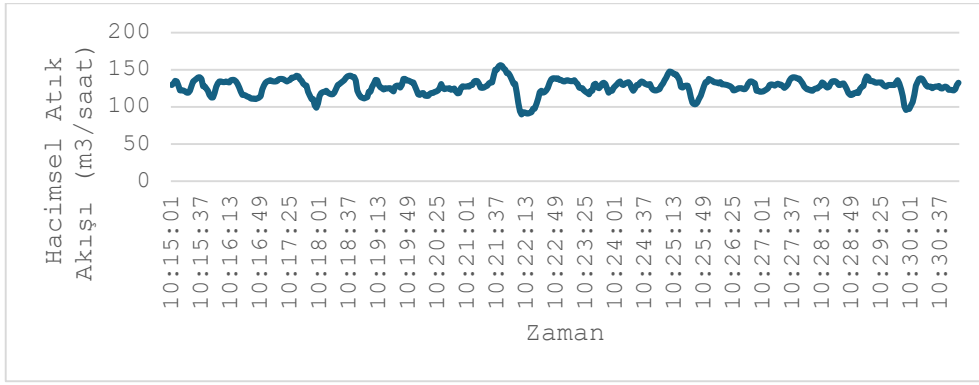


Kaba Flotasyon Devresi Sonuncu Hücre

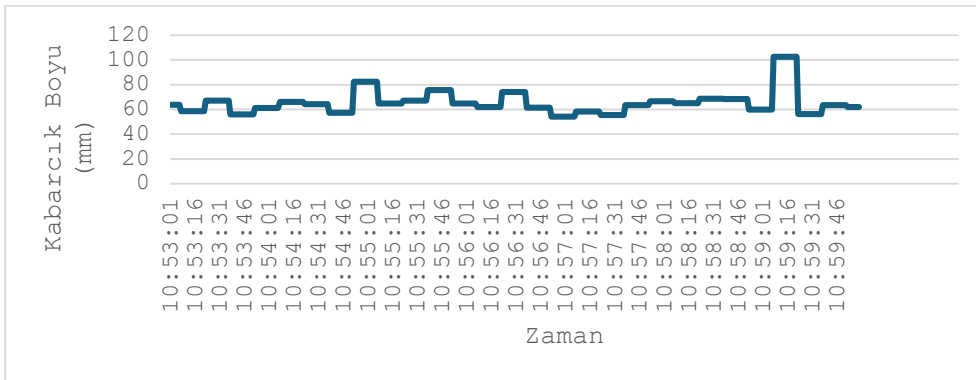
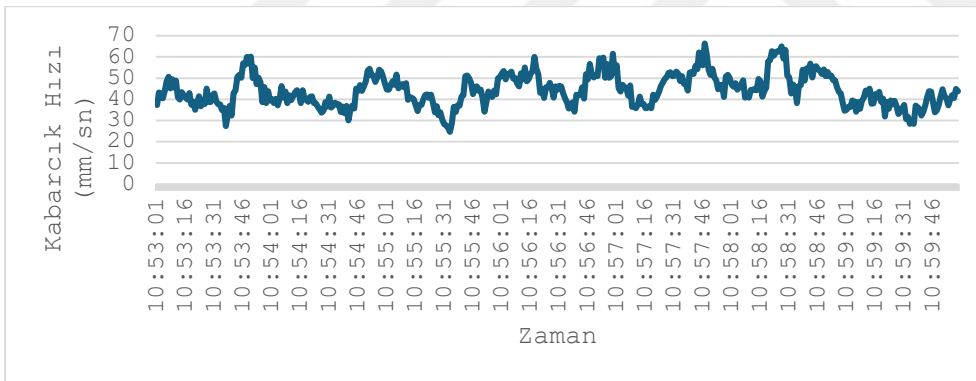
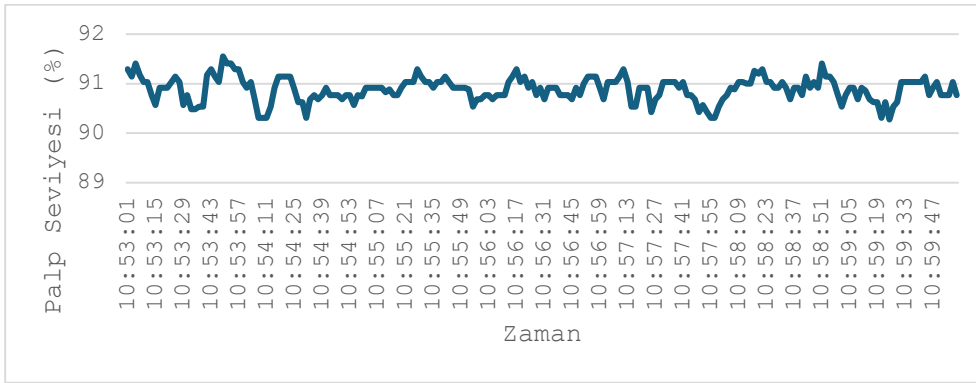
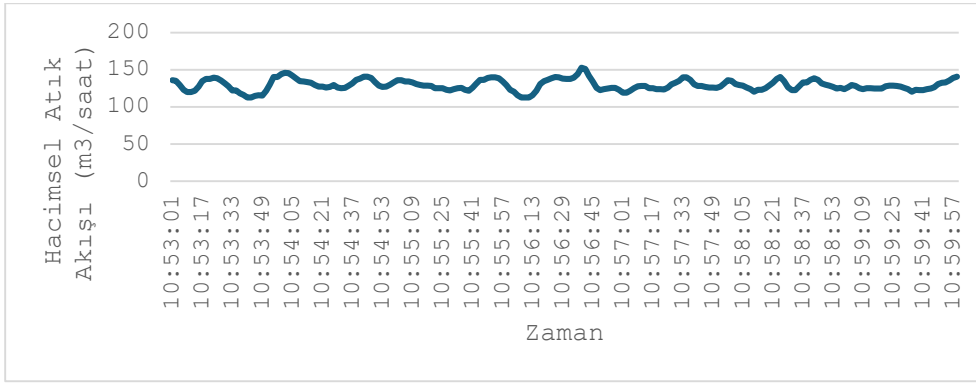
Test 12



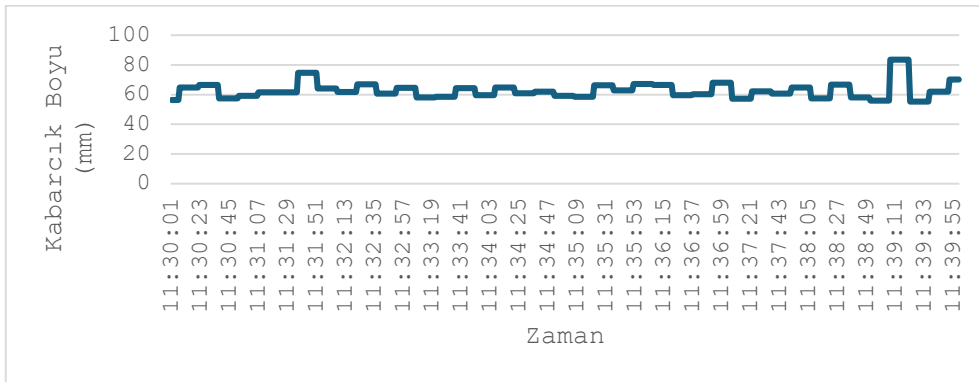
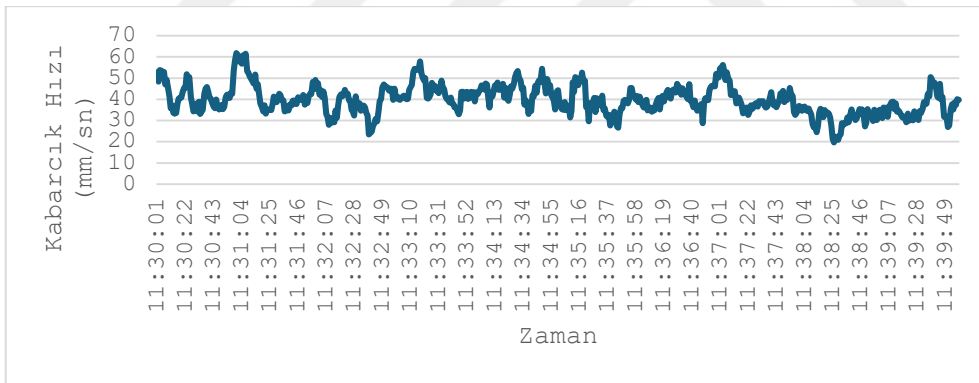
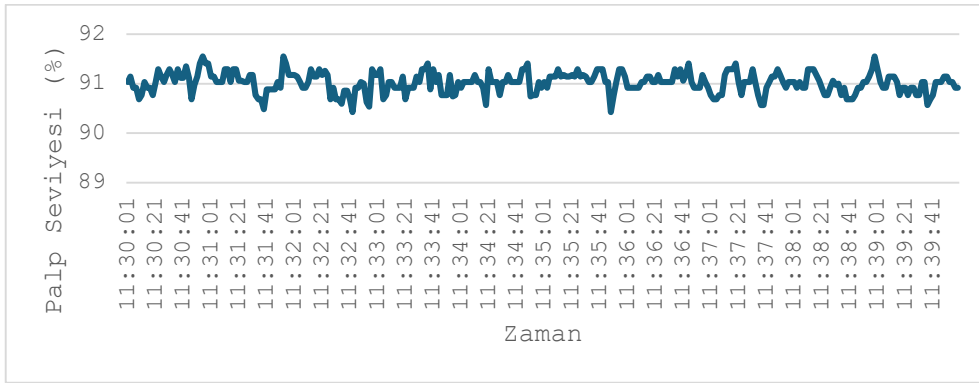
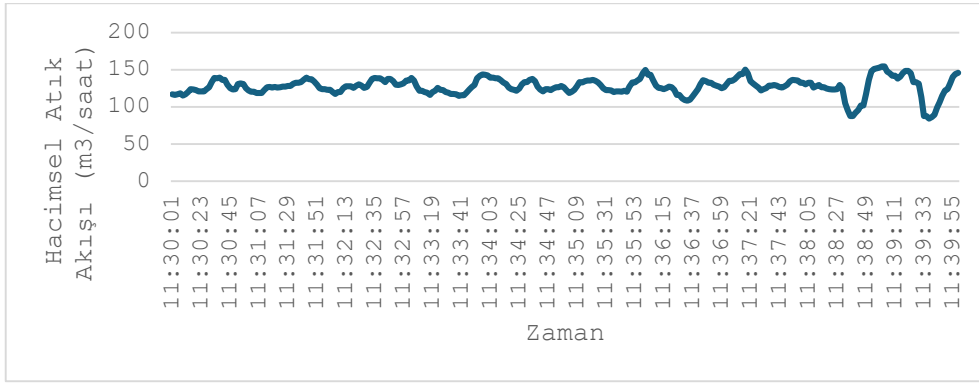
Test 13



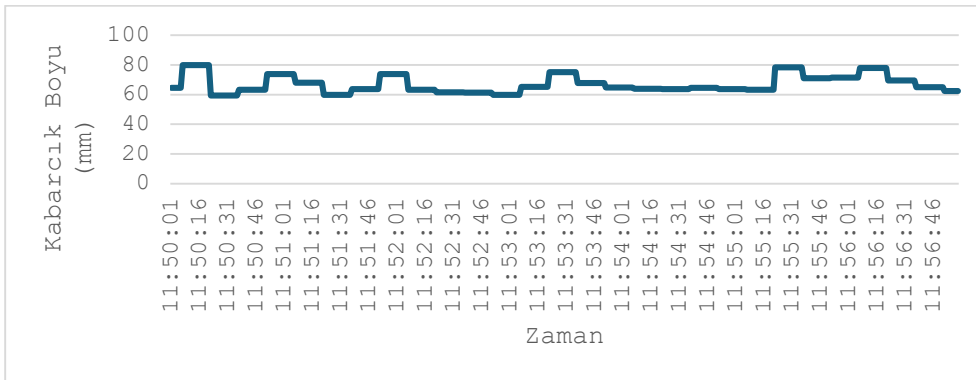
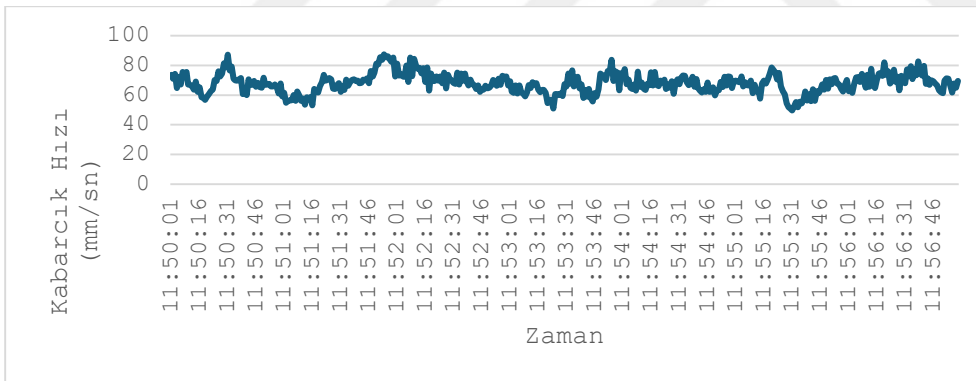
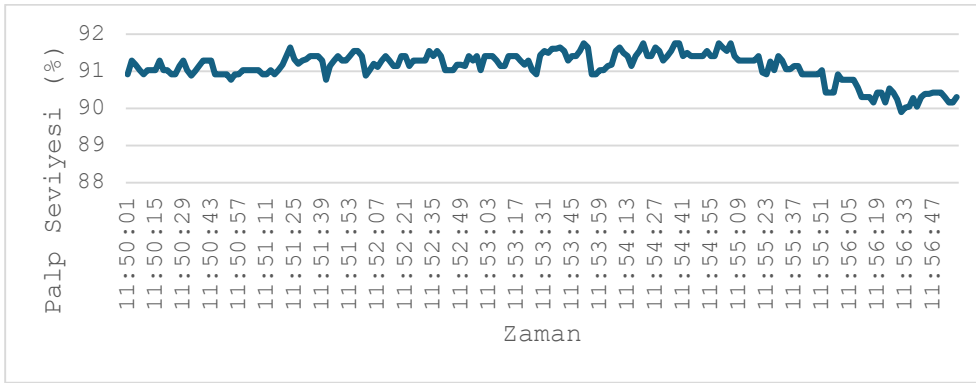
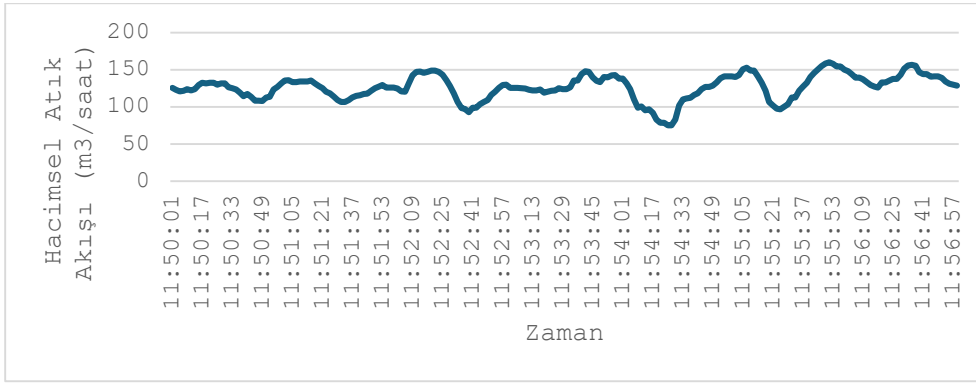
Test 14



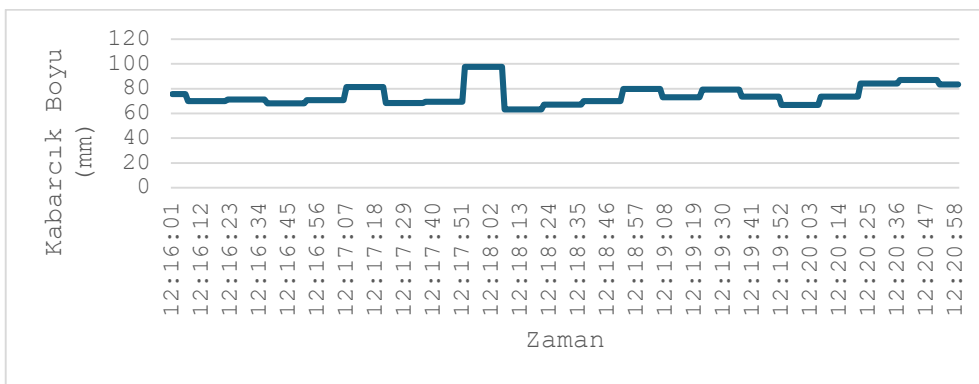
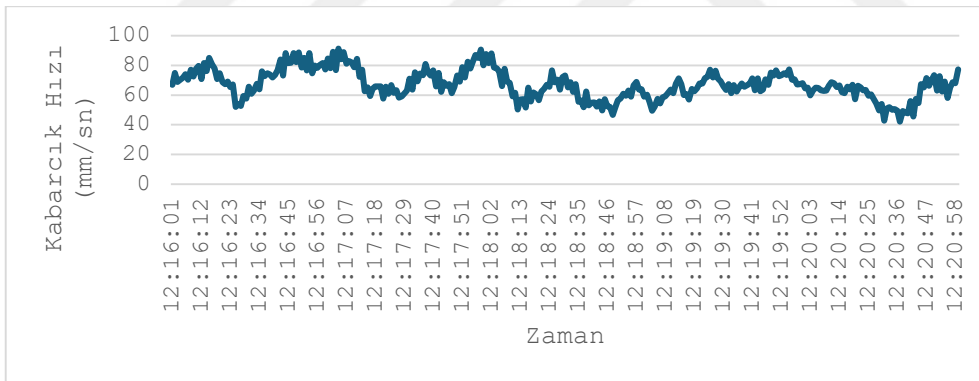
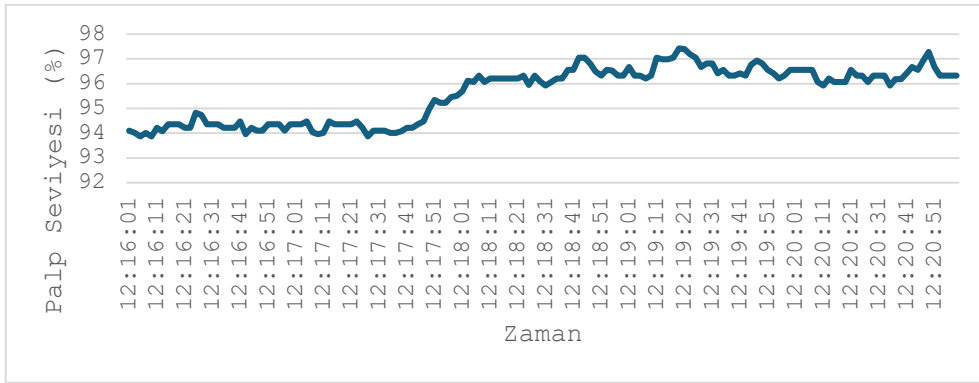
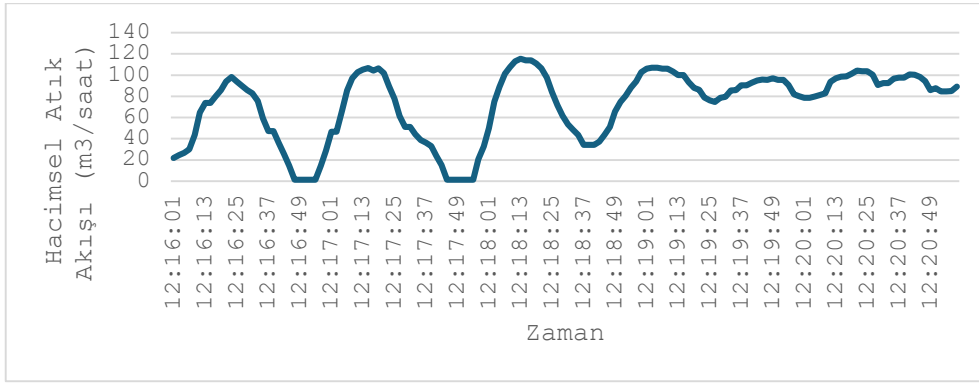
Test 15



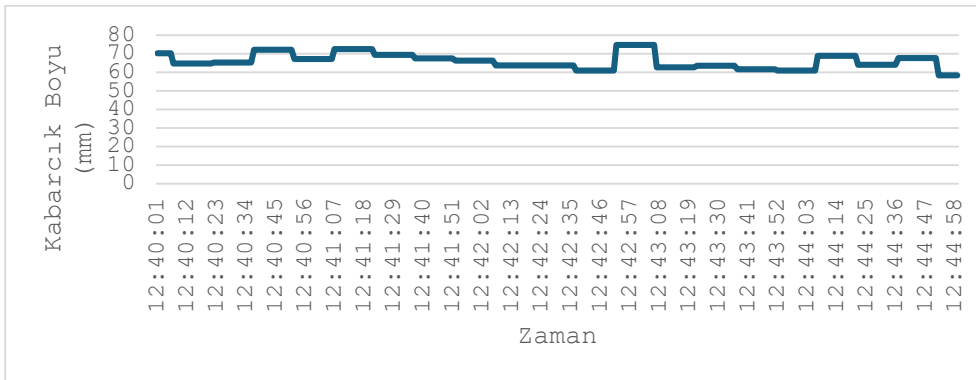
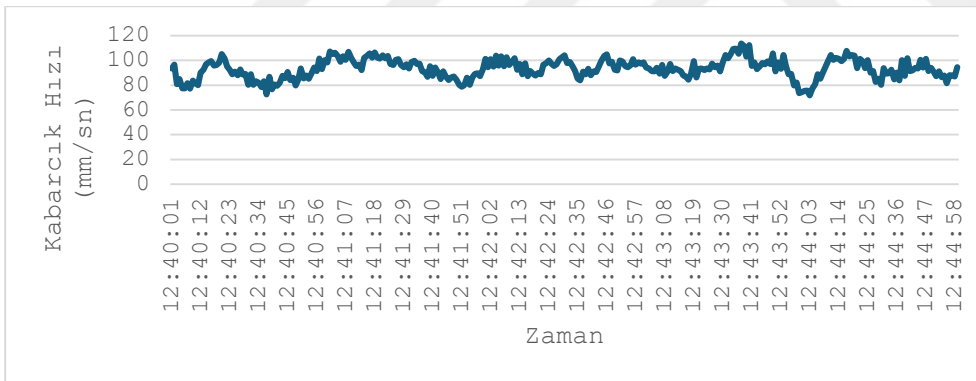
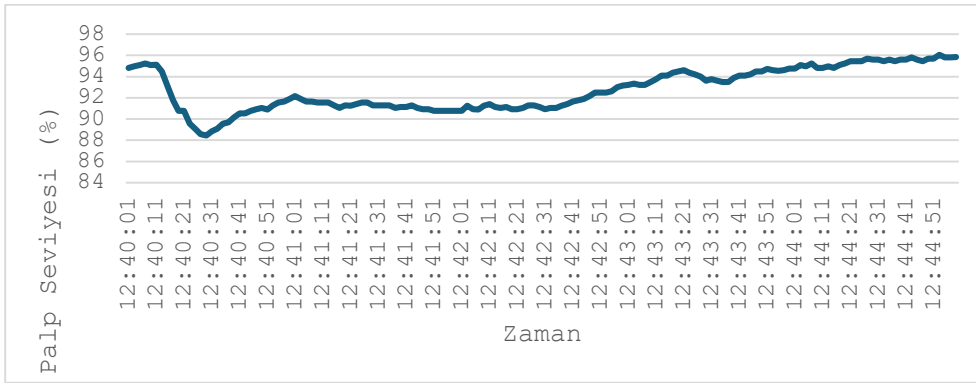
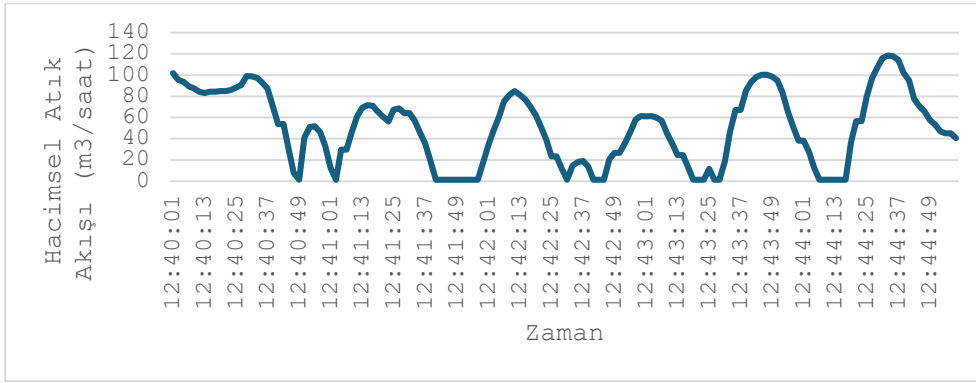
Test 16



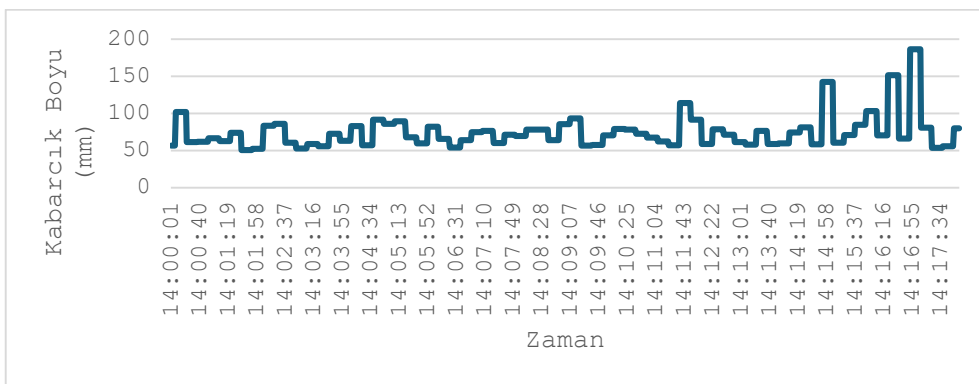
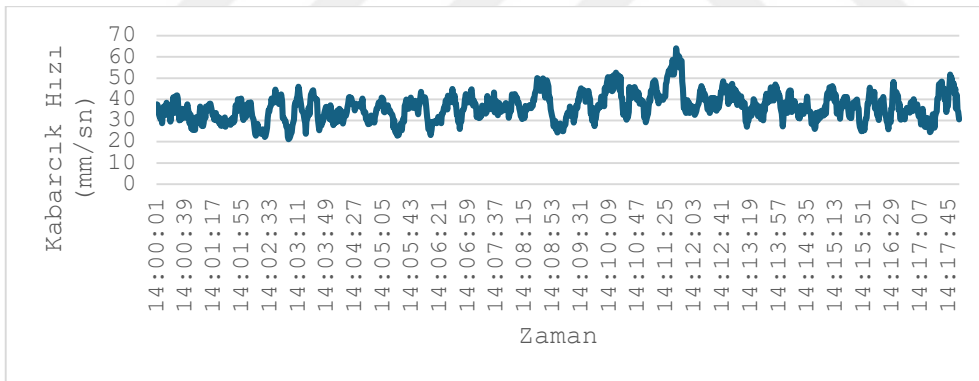
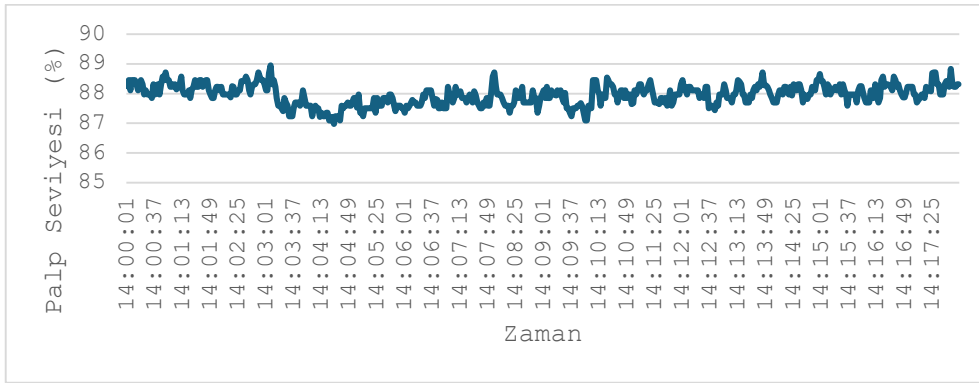
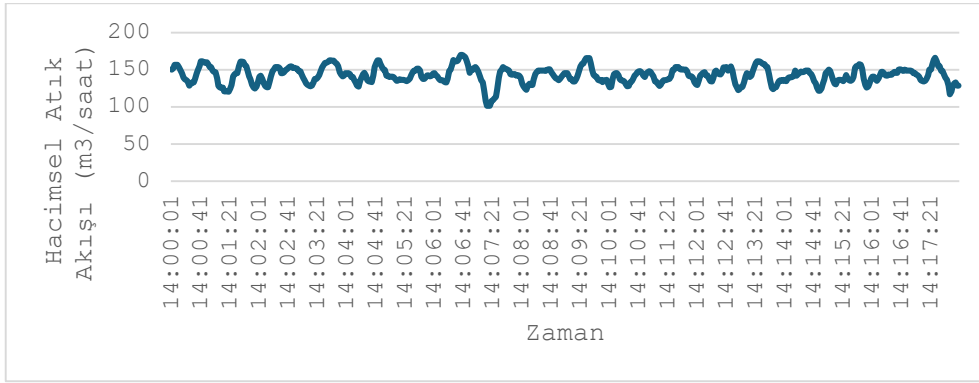
Test 17



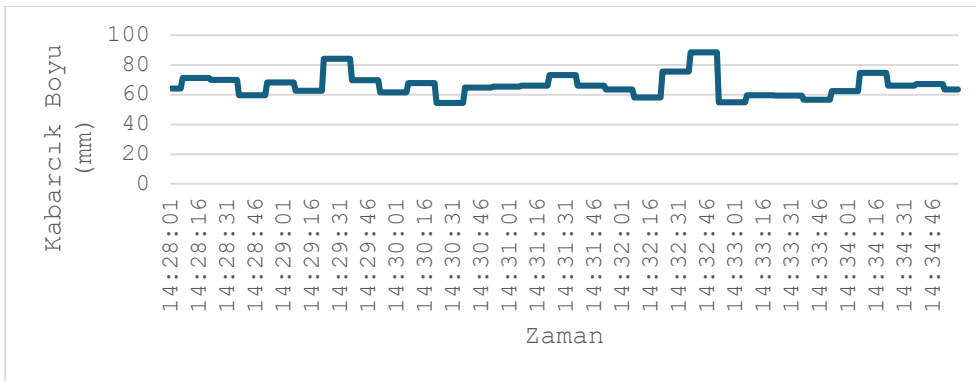
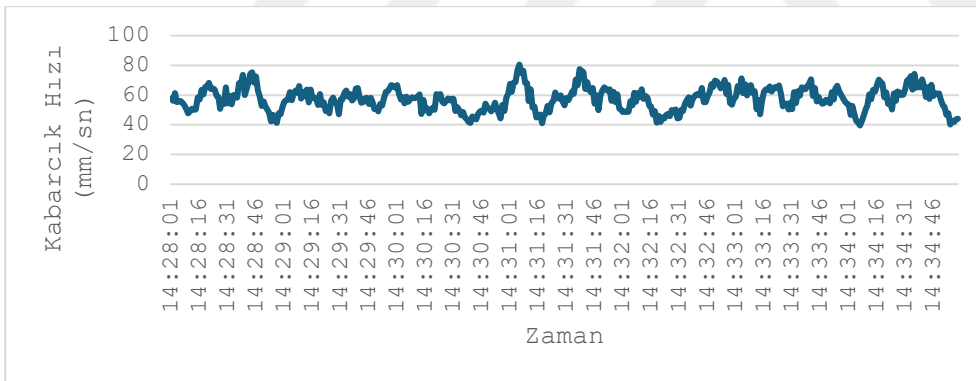
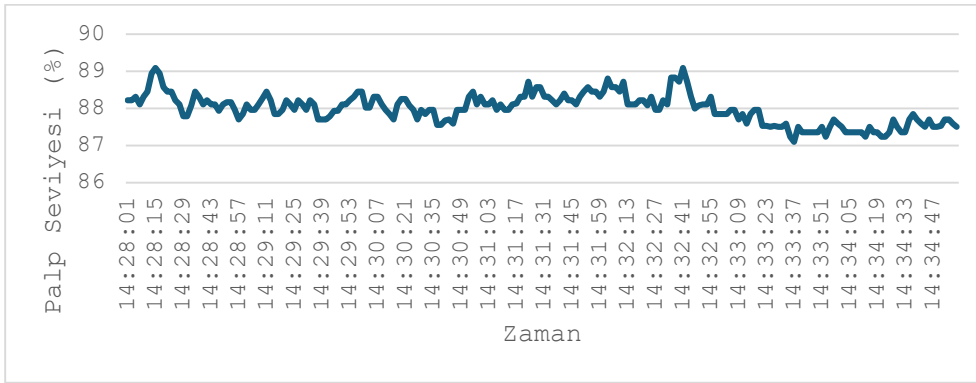
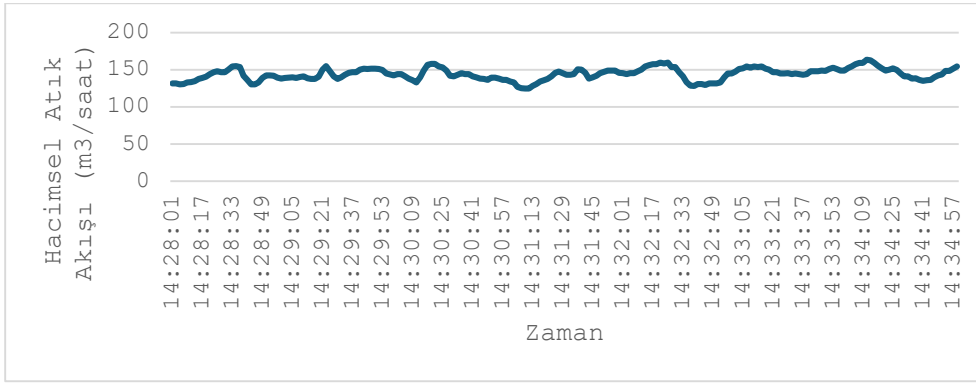
Test 18



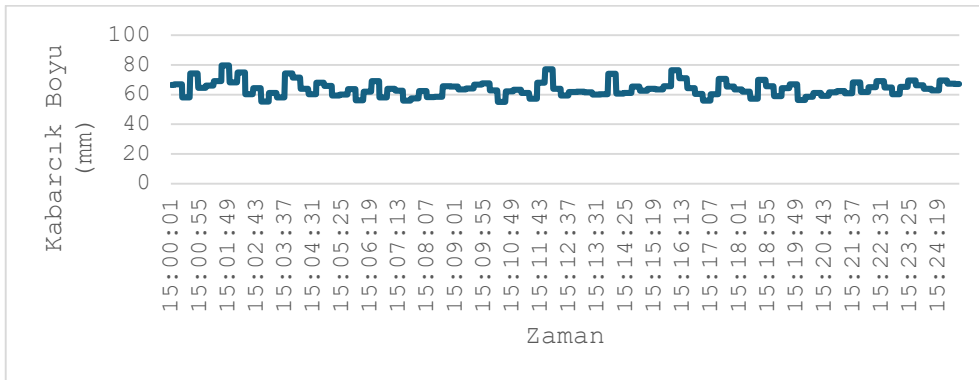
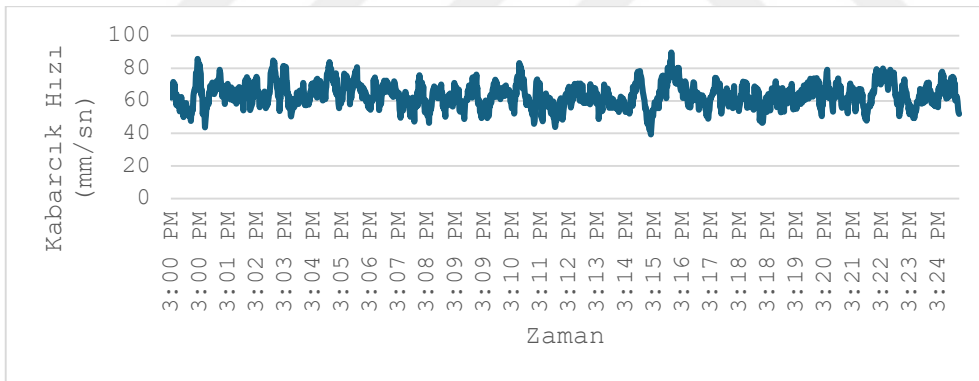
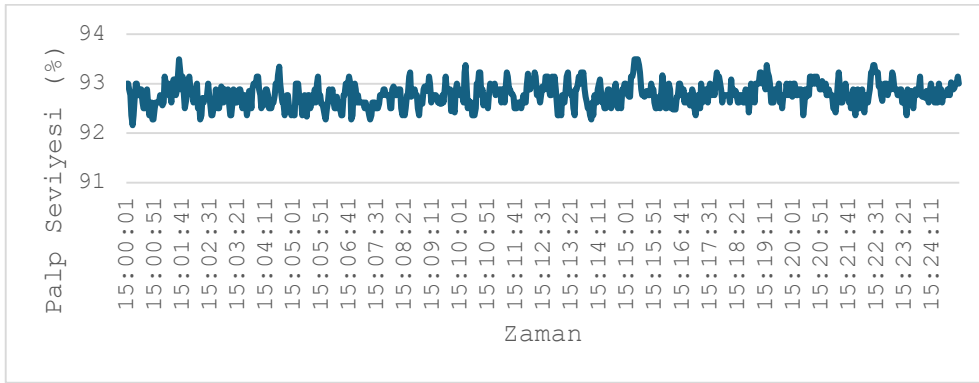
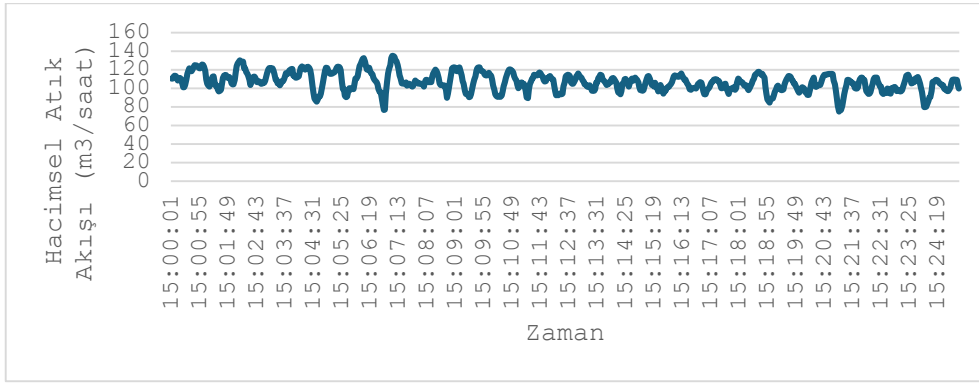
Test 19



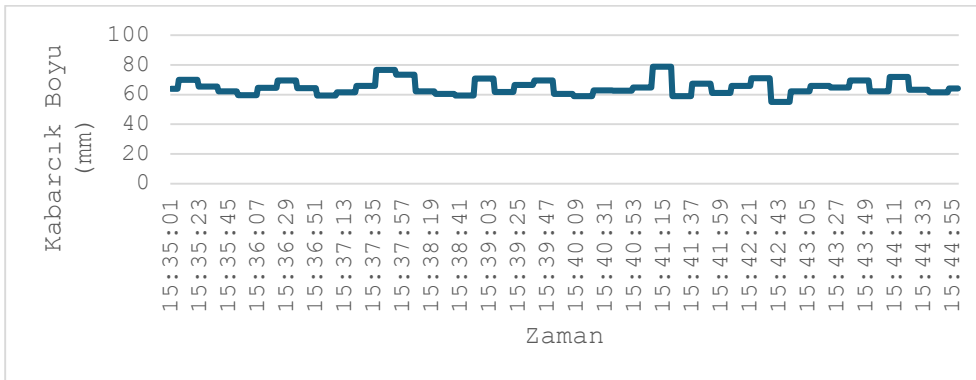
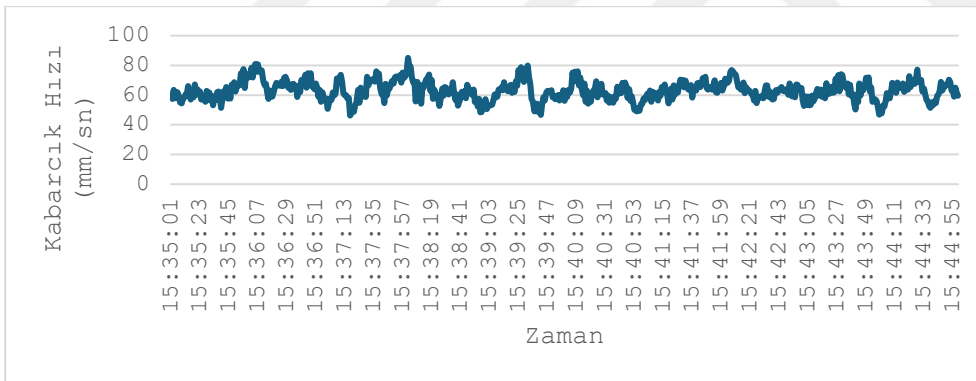
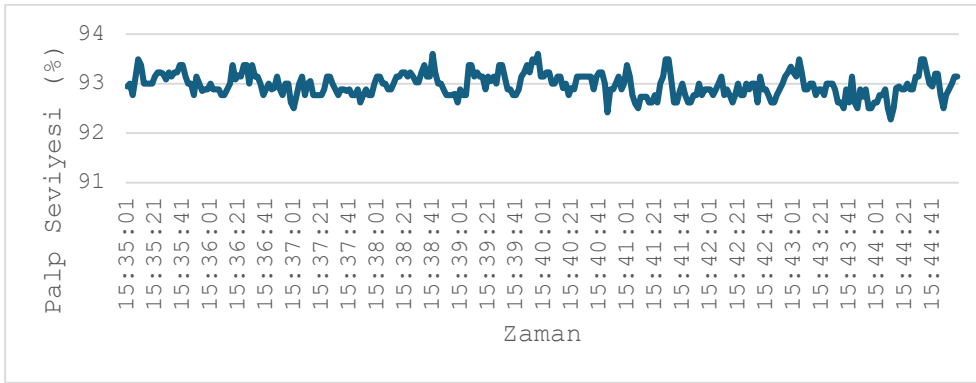
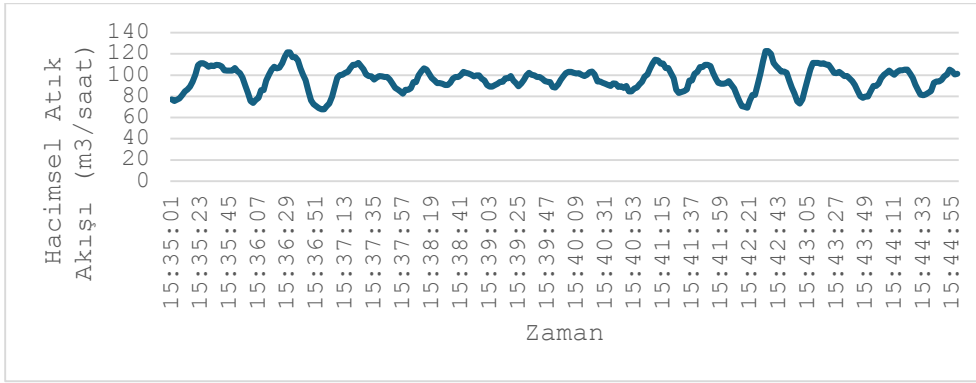
Test 20



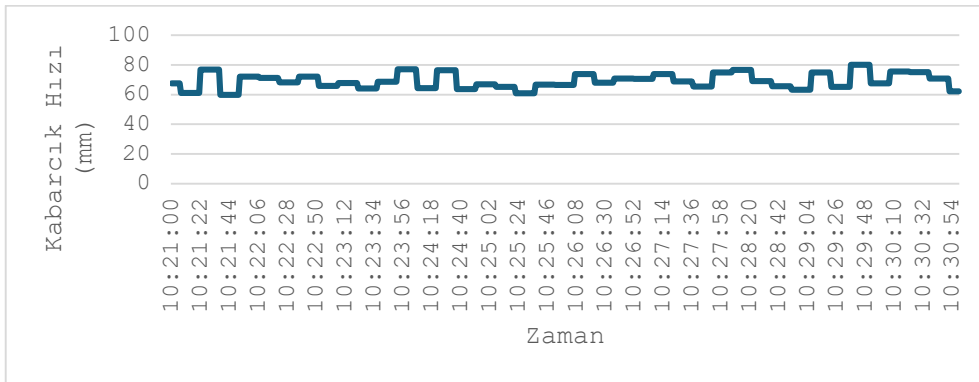
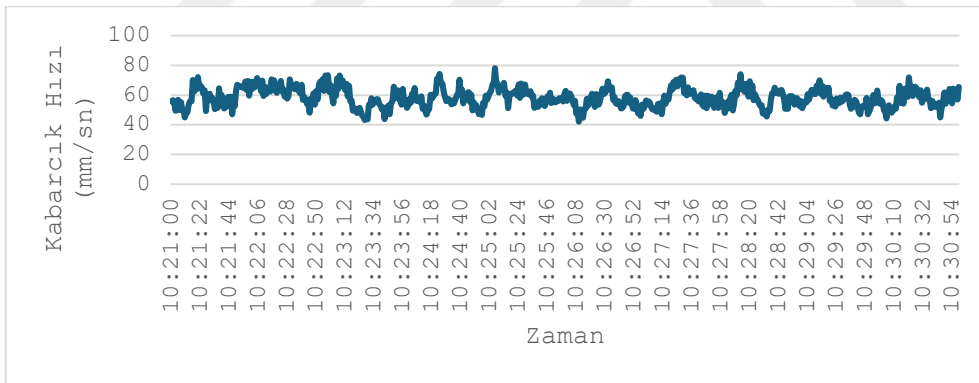
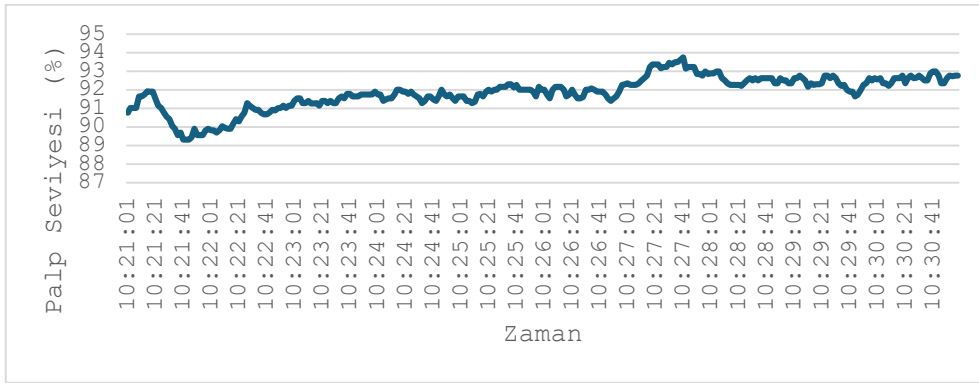
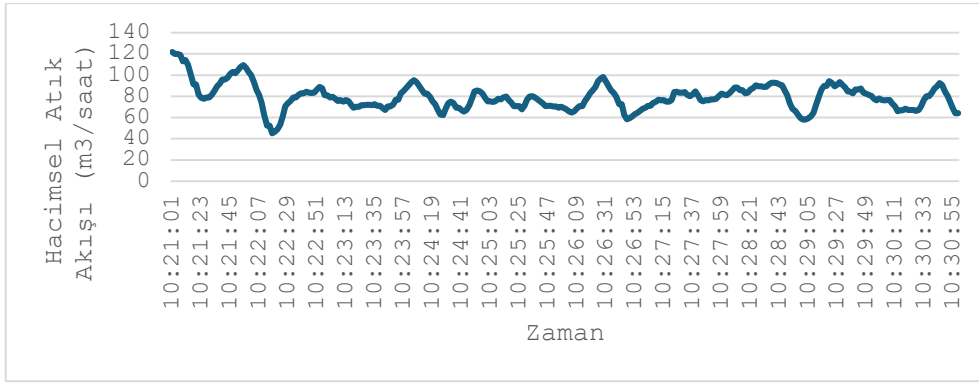
Test 21



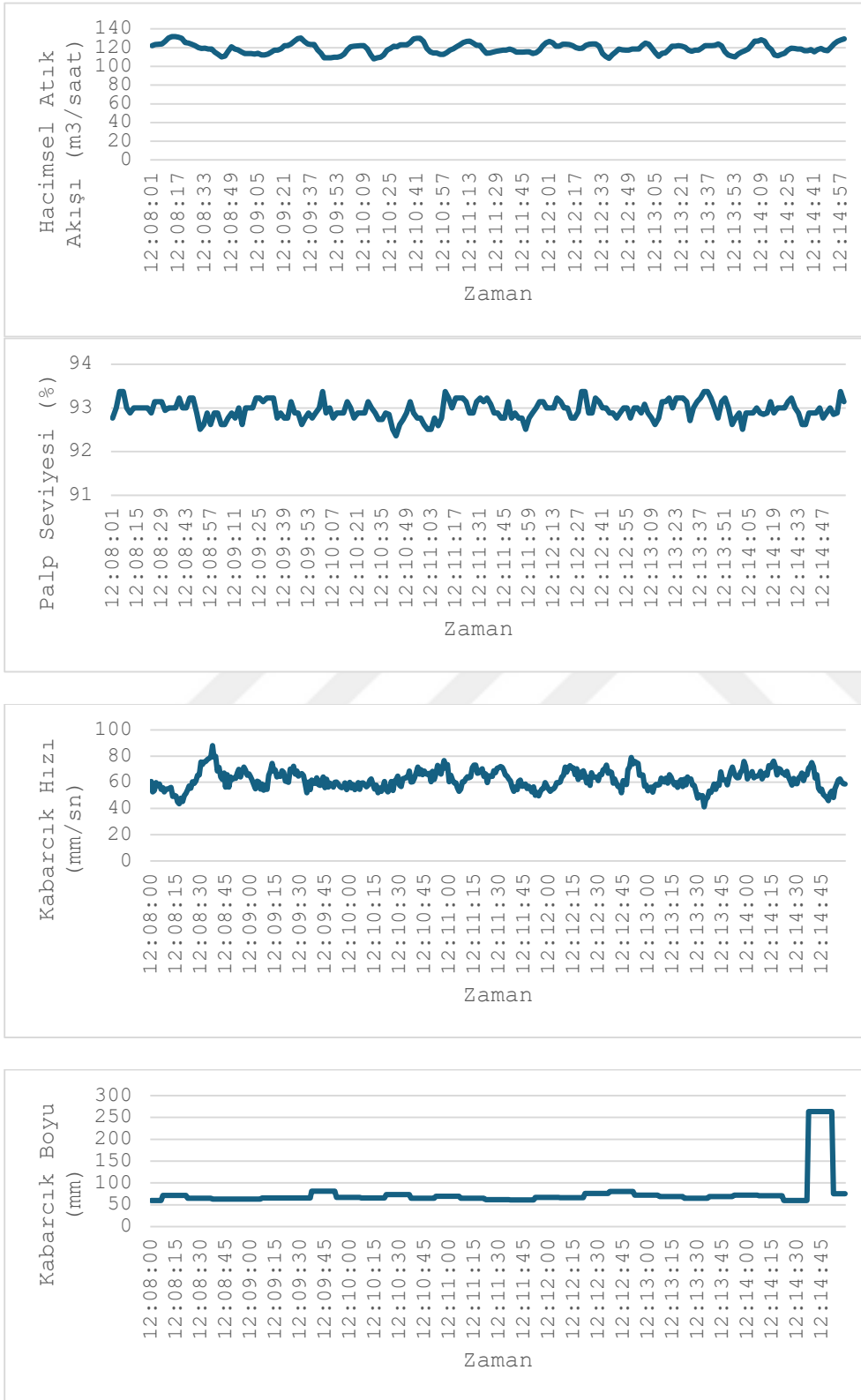
Test 22



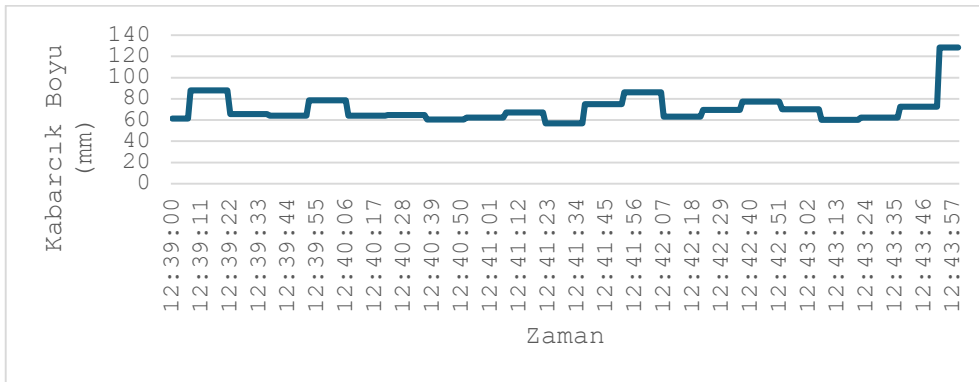
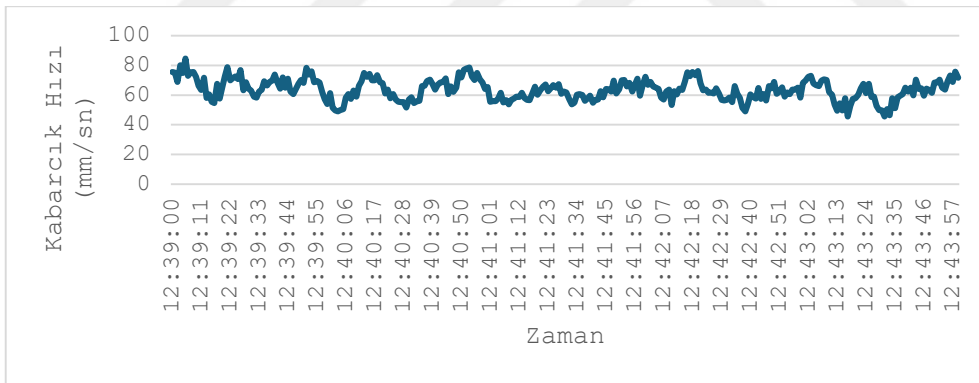
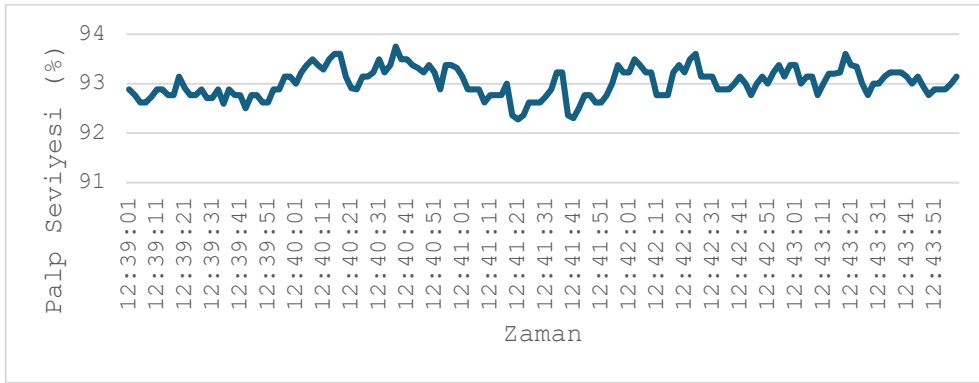
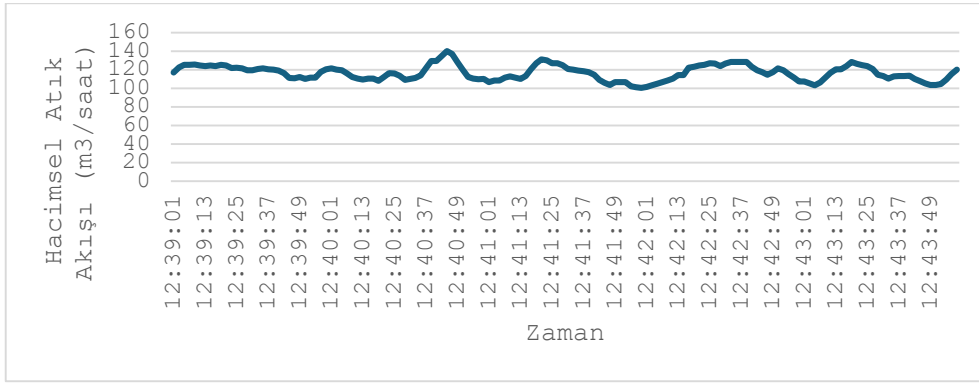
Test 23



Test 24



Test 25



Kimyasal Analiz Sonuçları

Flaş Hücre

		Au	Ag	S	Pb	Zn	Cu	Fe	As
		ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm
Test 1	Besleme	14.55	10.2	2.06	4070	5440	241	5.51	2510
	Konsantre	166	>100	41	>10000	>10000	3560	32.5	>10000
	Atık	10.15	10	1.38	2380	5480	187	5.08	2100
Test 2	Besleme	13.55	12.2	2.43	4770	5430	244	6.03	2790
	Konsantre	166	>100	40	>10000	>10000	3080	32	>10000
	Atık	12.7	13.9	1.57	2640	5390	185	5.36	2440
Test 3	Besleme	13.9	11	2.16	3920	5550	405	5.54	2710
	Konsantre	171	>100	39.6	>10000	>10000	3290	32.6	>10000
	Atık	10.75	8.7	1.51	2490	5500	184	5.39	2610
Test 4	Besleme	13.1	11.7	1.95	3320	5440	237	5.79	2940
	Konsantre		>100	43.2	>10000	>10000	3370	34.2	>10000
	Atık	10.85	7	1.49	2240	5490	177	5.29	2850
Test 5	Besleme	15.1	12	1.9	3490	5540	240	5.76	3200
	Konsantre	170.5	>100	39.9	>10000	>10000	3370	33.3	>10000
	Atık	9.49	8.4	1.33	1980	5230	182	5.43	2810
Test 6	Besleme	12	16.4	1.79	3020	5290	222	5.96	3010
	Konsantre	156	>100	40.6	>10000	>10000	3270	32.7	>10000
	Atık	10.1	6.8	1.42	2020	5070	164	5.19	2840

		Au	Ag	S	Pb	Zn	Cu	Fe	As
		ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm
Test 7	Besleme	11.65	7.7	2	3190	5130	241	5.57	2980
	Konsantre	155.5	>100	36.7	>10000	>10000	3360	32.9	>10000
	Atık	9.17	8.4	1.41	2070	5170	192	5.21	2920
Test 8	Besleme	14.35	12.1	2.14	3690	5190	255	5.76	3220
	Konsantre	130	>100	38.5	>10000	>10000	2990	32.5	>10000
	Atık	9.52	7.2	1.54	2300	5040	176	5.06	2780
Test 9	Besleme	14.3	10.4	2.1	3550	4840	217	5.5	2900
	Konsantre	88.9	>100	25.7	>10000	9390	2070	22.9	>10000
	Atık	11.25	6.9	1.47	2220	4820	172	5	2590
Test 10	Besleme	14.3	9.9	1.73	3020	4750	188	5.36	2700
	Konsantre	85.3	99	18.55	>10000	>10000	1750	17.75	>10000
	Atık	10.3	11.8	1.23	1925	4720	168	5.01	2580
Test 11	Besleme	15.1	8.3	1.7	3060	4720	204	5.5	2760
	Konsantre	117.5	>100	26.8	>10000	>10000	2370	24	>10000
	Atık	11.45	7.2	1.3	2060	4740	173	4.94	2590
Test 12	Besleme	9.38	16.3	2.57	3790	4880	201	6.11	2270
	Konsantre	136.5	>100	41.4	>10000	>10000	2770	33.7	>10000
	Atık	7.95		1.81					
Test 13	Besleme	9.1	7.5	2.14	3150	4880	199	6	2190
	Konsantre	42.1	43.2	11	>10000	8580	793	11.8	4460
	Atık	6.75	5.3	1.37	1685	4490	130	5.11	1885
Test 14	Besleme	8.09	7.9	1.96	2790	4490	167	5.64	1990
	Konsantre	123.5	>100	40	>10000	>10000	2720	32.5	9220
	Atık	5.06	10.3	1.3	1550	4300	131	4.97	1810

		Au	Ag	S	Pb	Zn	Cu	Fe	As
		ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm
Test 15	Besleme	8.76	7.6	2.29	3510	4710	195	5.91	2060
	Konsantre	120.5	>100	40.9	>10000	>10000	2760	32.6	8640
	Atık	6.37	9.7	1.57	1890	4530	154	5.15	1875
Test 16	Besleme	9.18		2.28					
	Konsantre	129.5	>100	39.3	>10000	>10000	2600	34	9810
	Atık	7.18	4.3	1.49	1700	4440	180	5.01	1730

Kaba Flotasyon Devresi Birinci Hücre

		Au	As	Cu	Fe	Pb	Zn	S
		ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%
Test 1	Besleme	2.67	732	422	4.78	7080	9580	1.82
	Konsantre	2.92	806	500	5.12	8400	10650	2.11
	Atık	2.01	641	321	4.52	4790	8580	1.42
Test 2	Besleme	2.35	710	404	4.76	6910	9760	1.79
	Konsantre	3.17	839	528	5.31	10100	10900	2.39
	Atık	1.97	651	336	4.59	5160	8950	1.39
Test 3	Besleme	2.4	717	408	4.83	6810	11400	1.82
	Konsantre	6.23	1265	1130	6.99	24000	18250	5.46
	Atık	2.01	649	334	4.6	5080	8970	1.37

		Au	As	Cu	Fe	Pb	Zn	S
		ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%
Test 4	Besleme	2.12	674	386	4.78	6200	9520	1.53
	Konsantre	2.35	681	416	4.83	6710	9870	1.71
	Atık	1.64	531	237	4.19	3550	6840	1.06
Test 5	Besleme	2.1	656	368	4.8	5950	9160	1.59
	Konsantre	2.89	769	533	5.34	9070	11900	2.31
	Atık	1.6	577	271	4.36	3900	7600	1.19
Test 6	Besleme	1.98	609	336	4.57	5230	8370	1.53
	Konsantre	2.19	690	415	5.01	6140	10350	1.78
	Atık	1.49	567	253	4.54	3640	7090	1.05
Test 7	Besleme	1.91	604	341	4.66	5210	8400	1.47
	Konsantre	2.21	654	388	4.9	5740	9360	1.67
	Atık	1.5	520	217	4.41	3080	6450	0.92
Test 8	Besleme	2.08	790	361	4.97	6090	9080	1.64
	Konsantre	2.16	791	361	4.98	5960	9030	1.71
	Atık	1.36	666	202	4.4	3300	5580	0.9
Test 9	Besleme	2.31	818	390	4.94	6150	9520	1.78
	Konsantre	2.32	835	373	5.03	5850	9510	1.83
	Atık	1.42	675	238	4.52	3540	6710	1.07
Test 10	Besleme	2.63	819	393	4.86	6740	9450	2.08
	Konsantre	3.34	1080	606	5.89	10000	12900	2.82
	Atık	1.79	705	285	4.68	4140	7860	1.26

Kaba Flotasyon Devresi Sonucu Hücre

		Au	As	Cu	Fe	Pb	Zn	S
		ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%
Test 12	Besleme	0.45	324	32	3.23	825	1045	0.08
	Konsantre	12	7670	1030	9.35	8070	32900	5.23
	Atık	0.51	375	35	3.35	944	1235	0.1
Test 13	Besleme	0.44	319	31	3.16	790	1050	0.09
	Konsantre	6.61	4060	542	6.83	4910	17600	2.8
	Atık	0.41	311	31	3.21	850	1015	0.07
Test 14	Besleme	0.46	322	31	3.14	762	1080	0.08
	Konsantre	4.08	2390	379	5.53	3310	13400	1.81
	Atık	0.41	317	29	3.31	790	1025	0.08
Test 15	Besleme	0.49	291	29	3.03	709	1050	0.09
	Konsantre	8.48	4950	746	7.26	5380	29900	3.82
	Atık	0.51	448	27	3.22	656	1100	0.1
Test 16	Besleme	0.49	290	28	3.05	701	1025	0.11
	Konsantre	1.02	570	61	3.6	1145	2150	0.24
	Atık	0.45	281	25	2.98	670	899	0.07
Test 17	Besleme	0.45	302	29	3.1	729	1055	0.09
	Konsantre	0.89	554	64	3.54	1100	2400	0.26
	Atık	0.5	312	27	3.15	756	994	0.08
Test 18	Besleme	0.47	337	32	3.15	767	1170	0.11
	Konsantre	0.78	626	67	3.63	1145	2350	0.26
	Atık	0.46	334	29	3.18	760	1005	0.1

		Au	As	Cu	Fe	Pb	Zn	S
		ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%
Test 19	Besleme	0.54	397	41	3.24	804	1545	0.14
	Konsantre	15.25	8780	1885	10.45	12150	72500	10.35
	Atık	0.89	359	30	3.05	716	1125	0.11
Test 20	Besleme	0.51	380	33	3.06	729	1270	0.12
	Konsantre	1.85	1240	173	4.16	1855	6400	0.79
	Atık	0.65	575	31	3.45	834	1445	0.18
Test 21	Besleme	0.5	377	35	3.19	748	1390	0.11
	Konsantre	1.41	1050	126	4.1	1515	5060	0.56
	Atık	0.56	370	29	3.31	719	1125	0.11
Test 22	Besleme	0.51	394	33	3.2	746	1355	0.11
	Konsantre	1.32	1015	126	4.07	1535	5150	0.56
	Atık	0.45	340	27	3.14	705	1075	0.1
Test 23	Besleme	0.46	240	31	3.2	852	912	0.08
	Konsantre	1.27	534	119	3.98	1610	3650	0.47
	Atık	0.47	243	30	3.22	830	888	0.09
Test 24	Besleme	0.49	195	35	3.31	864	1010	0.11
	Konsantre	1.05	543	98	3.95	1640	2980	0.39
	Atık	0.56	229	30	3.27	812	986	0.09
Test 25	Besleme	0.49	188	36	3.3	855	1035	0.12
	Konsantre	1.22	481	117	3.86	1485	3810	0.47
	Atık	1.03	245	31	3.29	776	1005	0.11
Test 26	Besleme	0.54	397	41	3.24	804	1545	0.14
	Konsantre	15.25	8780	1885	10.45	12150	72500	10.35
	Atık	0.89	359	30	3.05	716	1125	0.11

Madde Denkliği

Flaş Hücre

Test No	Akış	Verim (%)					Tenör			
		Katı	Au	S	Fe	NSG	Au (ppm)	S (%)	Fe (%)	NSG (%)
Test 1	Besleme	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	12.70	1.88	5.44	91.50
	Konsantre	1.05	14.00	23.04	6.25	0.14	168.54	41.13	32.23	11.96
	Atık	98.95	86.00	76.96	93.75	99.86	11.04	1.46	5.16	92.35
Test 2	Besleme	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	2.02	5.76	91.02
	Konsantre	0.69	8.37	13.71	3.78	0.10	0.10	40.12	31.58	13.36
	Atık	99.31	91.63	86.29	96.22	99.90	99.90	1.75	5.58	91.56
Test 3	Besleme	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	13.97	2.20	5.62	90.89
	Konsantre	2.20	26.84	39.63	12.87	0.32	170.74	39.75	32.92	13.23
	Atık	97.80	73.16	60.37	87.13	99.68	10.45	1.36	5.00	92.64
Test 4	Besleme	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	12.28	1.81	5.61	91.43
	Konsantre	0.56	7.66	13.40	3.40	0.05	167.75	43.23	34.01	7.73
	Atık	99.44	92.34	86.60	96.60	99.95	11.41	1.57	5.44	91.90
Test 5	Besleme	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	12.08	1.74	5.71	91.37
	Konsantre	0.87	12.47	19.88	5.00	0.12	173.83	39.99	32.97	12.86
	Atık	99.13	87.53	80.12	95.00	99.88	10.67	1.41	5.48	92.06
Test 6	Besleme	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	11.43	1.72	5.62	91.55
	Konsantre	0.63	8.64	14.91	3.66	0.09	156.61	40.57	32.60	13.12
	Atık	99.37	91.36	85.09	96.34	99.91	10.50	1.47	5.45	92.05

Test No	Akış	Verim (%)					Tenör			
		Katı	Au	S	Fe	NSG	Au (ppm)	S (%)	Fe (%)	NSG (%)
Test 7	Besleme	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	11.20	1.88	5.55	91.39
	Konsantre	1.19	16.62	23.33	7.01	0.22	156.46	36.95	32.73	16.96
	Atık	98.81	83.38	76.67	92.99	99.78	9.45	1.46	5.22	92.29
Test 8	Besleme	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	11.41	1.87	5.44	91.55
	Konsantre	0.50	5.77	10.36	2.98	0.09	131.21	38.59	32.29	16.87
	Atık	99.50	94.23	89.64	97.02	99.91	10.81	1.68	5.31	91.93
Test 9	Besleme	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	12.90	1.85	5.33	91.74
	Konsantre	1.03	7.17	14.53	4.43	0.48	89.46	25.97	22.83	42.67
	Atık	98.97	92.83	85.47	95.57	99.52	12.10	1.60	5.14	92.25
Test 10	Besleme	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	12.27	1.54	5.26	92.16
	Konsantre	1.25	8.78	15.22	4.22	0.76	86.20	18.79	17.73	56.00
	Atık	98.75	91.22	84.78	95.78	99.24	11.34	1.32	5.10	92.62
Test 11	Besleme	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	13.37	1.59	5.28	92.08
	Konsantre	0.87	7.75	14.83	3.97	0.37	118.42	26.94	23.96	39.29
	Atık	99.13	92.25	85.17	96.03	99.63	12.44	1.37	5.12	92.54
Test 12	Besleme	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	8.97	2.21	5.95	90.78
	Konsantre	0.56	8.58	10.54	3.16	0.08	136.99	41.51	33.44	12.99
	Atık	99.44	91.42	89.46	96.84	99.92	8.24	1.99	5.80	91.22
Test 13	Besleme	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	8.49	1.87	5.63	91.54
	Konsantre	3.99	20.02	24.02	8.39	3.20	42.62	11.27	11.85	73.51
	Atık	96.01	79.98	75.98	91.61	96.80	7.07	1.48	5.37	92.28
Test 14	Besleme	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	6.74	1.76	5.41	91.92
	Konsantre	0.96	17.97	21.84	5.69	0.17	126.51	40.19	32.19	16.25
	Atık	99.04	82.03	78.16	94.31	99.83	5.58	1.39	5.15	92.66

Test No	Akış	Verim (%)					Tenör			
		Katı	Au	S	Fe	NSG	Au (ppm)	S (%)	Fe (%)	NSG (%)
Test 15	Besleme	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	7.87	2.04	5.62	91.37
	Konsantre	0.90	13.91	18.01	5.16	0.15	122.01	41.00	32.29	15.59
	Atık	99.10	86.09	81.99	94.84	99.85	6.84	1.69	5.37	92.06
Test 16	Besleme	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	8.66	1.98	5.58	91.51
	Konsantre	0.94	14.19	18.75	5.67	0.17	130.48	39.46	33.62	16.31
	Atık	99.06	85.81	81.25	94.33	99.83	7.50	1.63	5.31	92.23

Kaba Flotasyon Devresi Birinci Hücre

Test No	Akış	Verim (%)					Tenör			
		Katı	Au	S	Fe	NSG	Au (ppm)	S (%)	Fe (%)	NSG (%)
Test 1	Besleme	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	2.31	1.62	4.68	92.10
	Konsantre	15.53	20.11	20.63	17.06	15.29	2.99	2.15	5.14	90.63
	Atık	84.47	79.89	79.37	82.94	84.71	2.18	1.52	4.60	92.36
Test 2	Besleme	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	2.20	1.61	4.71	92.02
	Konsantre	12.45	18.10	18.85	14.04	12.17	3.20	2.43	5.32	89.99
	Atık	87.55	81.90	81.15	85.96	87.83	2.06	1.49	4.63	92.30
Test 3	Besleme	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	2.35	1.73	4.80	91.67
	Konsantre	7.46	19.81	23.85	10.86	6.75	6.25	5.52	6.99	82.98
	Atık	92.54	80.19	76.15	89.14	93.25	2.04	1.42	4.62	92.37
Test 4	Besleme	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	1.89	1.29	4.48	92.88
	Konsantre	21.44	27.35	29.61	23.42	21.12	2.41	1.78	4.90	91.48
	Atık	78.56	72.65	70.39	76.58	78.88	1.75	1.15	4.37	93.26

Test No	Akış	Verim (%)					Tenör			
		Katı	Au	S	Fe	NSG	Au (ppm)	S (%)	Fe (%)	NSG (%)
Test 5	Besleme	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	1.88	1.42	4.61	92.51
	Konsantre	13.85	21.70	22.99	16.13	13.47	2.95	2.36	5.37	89.99
	Atık	86.15	78.30	77.01	83.87	86.53	1.71	1.27	4.49	92.92
Test 6	Besleme	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	1.71	1.26	4.60	92.83
	Konsantre	15.50	20.26	22.56	16.88	15.25	2.24	1.84	5.01	91.37
	Atık	84.50	79.74	77.44	83.12	84.75	1.62	1.16	4.52	93.10
Test 7	Besleme	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	1.74	1.18	4.57	93.01
	Konsantre	22.99	29.92	34.22	24.73	22.65	2.26	1.76	4.92	91.65
	Atık	77.01	70.08	65.78	75.27	77.35	1.58	1.01	4.47	93.41
Test 8	Besleme	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	1.70	1.26	4.68	92.79
	Konsantre	18.22	24.76	28.43	20.02	17.89	2.30	1.97	5.14	91.11
	Atık	81.78	75.24	71.57	79.98	82.11	1.56	1.10	4.58	93.17
Test 9	Besleme	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	1.72	1.31	4.73	92.65
	Konsantre	14.03	19.58	20.35	15.02	13.83	2.40	1.90	5.07	91.31
	Atık	85.97	80.42	79.65	84.98	86.17	1.61	1.22	4.68	92.87
Test 10	Besleme	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	2.13	1.57	4.83	92.09
	Konsantre	9.68	15.50	17.93	11.83	9.33	3.42	2.91	5.89	88.69
	Atık	90.32	84.50	82.07	88.17	90.67	2.00	1.43	4.71	92.46

Kaba Flotasyon Devresi Sonuncu Hücre

Test No	Akış	Verim (%)					Tenör			
		Katı	Au	S	Fe	NSG	Au (ppm)	S (%)	Fe (%)	NSG (%)
Test 13	Besleme	100	100	100	100	100	0.46	0.1	3.23	96.44
	Konsantre	0.96	13.68	28.18	2.03	0.87	6.61	2.8	6.83	87.66
	Atık	99.04	86.32	71.82	97.97	99.13	0.4	0.07	3.19	96.52
Test 14	Besleme	100	100	100	100	100	0.47	0.11	3.31	96.35
	Konsantre	1.82	15.69	31.19	3.05	1.72	4.08	1.8	5.53	90.72
	Atık	98.18	84.31	68.81	96.95	98.28	0.41	0.07	3.26	96.45
Test 15	Besleme	100	100	100	100	100	0.55	0.12	3.2	96.45
	Konsantre	0.68	10.47	22.06	1.54	0.6	8.48	3.81	7.26	84.84
	Atık	99.32	89.53	77.94	98.46	99.4	0.49	0.09	3.17	96.52
Test 16	Besleme	100	100	100	100	100	0.48	0.08	2.69	97.03
	Konsantre	5.68	11.98	16.63	7.6	5.61	1.02	0.24	3.6	95.76
	Atık	94.32	88.02	83.37	92.4	94.39	0.45	0.07	2.64	97.1
Test 17	Besleme	100	100	100	100	100	0.49	0.1	3.1	96.57
	Konsantre	23.34	42.68	59.82	26.65	23.15	0.89	0.26	3.54	95.79
	Atık	76.66	57.32	40.18	73.35	76.85	0.36	0.05	2.97	96.81
Test 18	Besleme	100	100	100	100	100	0.56	0.15	3.32	96.25
	Konsantre	34.91	48.3	59.32	38.16	34.71	0.78	0.26	3.63	95.7
	Atık	65.09	51.7	40.68	61.84	65.29	0.45	0.09	3.15	96.55
Test 19	Besleme	100	100	100	100	100	0.8	0.17	3.12	96.44
	Konsantre	0.59	11.22	36.64	1.98	0.43	15.2	10.32	10.45	69.69
	Atık	99.41	88.78	63.36	98.02	99.57	0.71	0.11	3.08	96.59

Test No	Akış	Verim (%)					Tenör			
		Katı	Au	S	Fe	NSG	Au (ppm)	S (%)	Fe (%)	NSG (%)
Test 20	Besleme	100	100	100	100	100	0.6	0.15	3.1	96.46
	Konsantre	6.42	19.77	32.95	8.6	6.26	1.85	0.79	4.16	94.08
	Atık	93.58	80.23	67.05	91.4	93.74	0.51	0.11	3.03	96.63
Test 21	Besleme	100	100	100	100	100	0.64	0.16	3.38	96.17
	Konsantre	13.29	29.19	46.07	16.13	13.07	1.4	0.55	4.1	94.58
	Atık	86.71	70.81	53.93	83.87	86.93	0.52	0.1	3.27	96.42
Test 22	Besleme	100	100	100	100	100	0.56	0.15	3.25	96.31
	Konsantre	13.05	30.92	47.39	16.33	12.82	1.32	0.55	4.07	94.6
	Atık	86.95	69.08	52.61	83.67	87.18	0.44	0.09	3.13	96.57
Test 23	Besleme	100	100	100	100	100	0.51	0.1	3.12	96.55
	Konsantre	10.52	26.1	46.92	13.43	10.35	1.27	0.47	3.98	94.96
	Atık	89.48	73.9	53.08	86.57	89.65	0.42	0.06	3.02	96.74
Test 24	Besleme	100	100	100	100	100	0.56	0.11	2.1	97.57
	Konsantre	5.29	9.83	19.41	9.69	5.16	1.05	0.39	3.86	95.23
	Atık	94.71	90.17	80.59	90.31	94.84	0.54	0.09	2.01	97.7
Test 25	Besleme	100	100	100	100	100	0.79	0.14	3.34	96.27
	Konsantre	10.86	16.7	35.13	12.54	10.73	1.21	0.47	3.86	95.09
	Atık	89.14	83.3	64.87	87.46	89.27	0.74	0.11	3.28	96.42

Kabarcık Hızı ile Katı Kazanımı İlişkisi

Flaş Hücre

*Flaş Hücresi Kabarcık Hızı-
Konsantre Katı Kazanımı
Doğrusal Regresyon
İstatistikleri*

Çoklu R	0.614489
R Kare	0.377597
Ayarlı R Kare	0.33314
Standart Hata	0.667388
Gözlem	16

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık</i> <i>F</i>
Regresyon	1	3.783044	3.783044	8.493465	0.011316
Fark	14	6.235691	0.445406		
Toplam	15	10.01874			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart</i> <i>Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük</i> <i>%95</i>	<i>Yüksek</i> <i>%95</i>	<i>Düşük</i> <i>95.0%</i>	<i>Yüksek</i> <i>95.0%</i>
Kesişim	0.200787	0.333034	0.602903	0.556214	-0.5135	0.915074	-0.5135	0.915074
Kabarcık Hızı	0.01073	0.003682	2.914355	0.011316	0.002833	0.018627	0.002833	0.018627

Kaba Flotasyon Devresi Birinci Hücre

*Kaba Flotasyon
Devresi Birinci Hücre
Kabarçık Hızı-
Konsantr Katı
Kazanımı Doğrusal
Regresyon İstatistikleri*

Çoklu R	0.75787
R Kare	0.574367
Ayarlı R	
Kare	0.521163
Standart	
Hata	3.342972
Gözlem	10

ANOVA

					<i>Anlamlılık</i>
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>F</i>
Regresyon	1	120.645	120.645	10.79553	0.011094
Fark	8	89.40367	11.17546		
Toplam	9	210.0487			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>	<i>Düşük 95.0%</i>	<i>Yüksek 95.0%</i>
Kesişim	4.654733	3.354631	1.387554	0.202698	-3.08106	12.39053	-3.08106	12.39053
Kabarçık Hızı	0.161124	0.049039	3.285655	0.011094	0.048041	0.274207	0.048041	0.274207

Kaba Flotasyon Devresi Sonuncu Hücre

*Kaba Flotasyon Devresi
Sonuncu Hücre
Kabarçık Hızı-
Konsantre Katı
Kazanımı Doğrusal
Regresyon İstatistikleri*

Çoklu R	0.88344
R Kare	0.780467
Ayarlı R	
Kare	0.760509
Standart	
Hata	4.887232
Gözlem	13

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık</i> <i>F</i>
Regresyon	1	934.0563	934.0563	39.10634	6.23E-05
Fark	11	262.7354	23.88504		
Toplam	12	1196.792			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart</i> <i>Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük</i> <i>%95</i>	<i>Yüksek</i> <i>%95</i>	<i>Düşük</i> <i>95.0%</i>	<i>Yüksek</i> <i>95.0%</i>
Kesişim	-23.8759	5.553208	-4.29947	0.001257	-36.0984	-11.6533	-36.0984	-11.6533
Kabarçık Hızı	0.578632	0.092529	6.253506	6.23E-05	0.374976	0.782287	0.374976	0.782287

Kabarcık Hızı ile Konsantre Altın Verimi İlişkisi

Flaş Hücre

*Flaş Hücresi Kabarcık
Hızı-Konsantre Altın
Verimi Doğrusal
Regresyon İstatistikleri*

Çoklu R	0.260262
R Kare	0.067736
Ayarlı R Kare	0.001146
Standart Hata	4.328644
Gözlem	16

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	1	19.05969	19.05969	1.017213	0.330296
Fark	14	262.3203	18.73716		
Toplam	15	281.38			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>	<i>Düşük 95.0%</i>	<i>Yüksek 95.0%</i>
Kesişim	9.373778	2.160043	4.339626	0.000679	4.740947	14.00661	4.740947	14.00661
Kabarcık Hızı	0.024085	0.023881	1.00857	0.330296	-0.02713	0.075304	-0.02713	0.075304

Kaba Flotasyon Devresi Birinci Hücre

*Kaba Flotasyon
Devresi Birinci Hücre
Kabarcık Hızı-
Konsantre Altın Verimi
Doğrusal Regresyon
İstatistikleri*

Çoklu R	0.435113
R Kare	0.189323
Ayarlı R Kare	0.087989
Standart Hata	4.187078
Gözlem	10

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	1	32.75431	32.75431	1.868299	0.208843
Fark	8	140.253	17.53162		
Toplam	9	173.0073			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>	<i>Düşük 95.0%</i>	<i>Yüksek 95.0%</i>
Kesişim	16.25841	4.201682	3.869501	0.004745	6.569316	25.94751	6.569316	25.94751
Kabarcık Hızı	0.083954	0.061421	1.366857	0.208843	-0.05768	0.225591	-0.05768	0.225591

Kaba Flotasyon Devresi Sonuncu Hücre

*Kaba Flotasyon
Devresi Sonuncu
Hücre Kabarcık Hızı-
Konsantre Altın Verimi
Doğrusal Regresyon
İstatistikleri*

Çoklu R	0.732716
R Kare	0.536872
Ayarlı R	
Kare	0.49477
Standart	
Hata	8.960825
Gözlem	13

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık</i> <i>F</i>
Regresyon	1	1023.903	1023.903	12.75154	0.004388
Fark	11	883.2603	80.29639		
Toplam	12	1907.163			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart</i> <i>Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük</i> <i>%95</i>	<i>Yüksek</i> <i>%95</i>	<i>Düşük</i> <i>95.0%</i>	<i>Yüksek</i> <i>95.0%</i>
Kesişim	-13.2184	10.1819	-1.29822	0.220771	-35.6286	9.191865	-35.6286	9.191865
Kabarcık								
Hızı	0.605822	0.169654	3.570931	0.004388	0.232417	0.979228	0.232417	0.979228

Kabarcık Hızı ile Konsantre Sülfür Verimi İlişkisi

Flaş Hücre

*Flaş Hücresi Kabarcık
Hızı-Konsantre Sülfür
Verimi Doğrusal
Regresyon İstatistikleri*

Çoklu R	0.269415
R Kare	0.072584
Ayarlı R Kare	0.00634
Standart Hata	4.583978
Gözlem	16

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	1	23.02405	23.02405	1.095712	0.312946
Fark	14	294.18	21.01286		
Toplam	15	317.204			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>	<i>Düşük 95.0%</i>	<i>Yüksek 95.0%</i>
Kesişim Kabarcık	14.59783	2.287457	6.381686	1.71E-05	9.691725	19.50394	9.691725	19.50394
Hızı	0.026472	0.025289	1.046763	0.312946	-0.02777	0.080712	-0.02777	0.080712

Kaba Flotasyon Devresi Birinci Hücre

*Kaba Flotasyon
Devresi Birinci Hücre
Kabarcık Hızı-
Konsantre Sülfür
Verimi Doğrusal*

Regresyon İstatistikleri

Çoklu R	0.295474
R Kare	0.087305
Ayarlı R Kare	-0.02678
Standart Hata	5.304449
Gözlem	10

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	1	21.53199	21.53199	0.76525	0.407185
Fark	8	225.0974	28.13718		
Toplam	9	246.6294			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>	<i>Düşük 95.0%</i>	<i>Yüksek 95.0%</i>
Kesişim	19.52285	5.32295	3.667676	0.006331	7.24811	31.7976	7.24811	31.7976
Kabarcık Hızı	0.068069	0.077812	0.874786	0.407185	-0.11137	0.247503	-0.11137	0.247503

Kaba Flotasyon Devresi Sonuncu Hücre

*Kaba Flotasyon
Devresi Sonuncu
Hücre Kabarcık Hızı-
Konsantre Sülfür
Verimi Doğrusal*

Regresyon İstatistikleri

Çoklu R	0.5105
R Kare	0.260611
Ayarlı R Kare	0.193393
Standart Hata	12.66585
Gözlem	13

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	1	621.9851	621.9851	3.87714	0.074653
Fark	11	1764.66	160.4237		
Toplam	12	2386.646			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>	<i>Düşük 95.0%</i>	<i>Yüksek 95.0%</i>
Kesişim Kabarcık	9.573643	14.3918	0.665215	0.519617	-22.1025	41.24979	-22.1025	41.24979
Hızı	0.472178	0.2398	1.969046	0.074653	-0.05562	0.999975	-0.05562	0.999975

Kabarcık Hızı ile Konsantre Altın Tenörü İlişkisi

Flaş Hücre

*Flaş Hücresi Kabarcık
Hızı-Konsantre Altın
Tenörü Doğrusal
Regresyon
İstatistikleri*

Çoklu R	0.76045986
R Kare	0.5782992
Ayarlı R Kare	0.54817771
Standart Hata	24.8070404
Gözlem	16

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	1	11814.79	11814.79	19.19889	0.000627
Fark	14	8615.45	615.3893		
Toplam	15	20430.24			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>	<i>Düşük 95.0%</i>	<i>Yüksek 95.0%</i>
Kesişim	180.958743	12.37899	14.61821	7.15E-10	154.4084	207.509	154.4084	207.509
Kabarcık Hızı	-0.5996621	0.136857	-4.38165	0.000627	-0.89319	0.30613	-0.89319	-0.30613

Kaba Flotasyon Devresi Birinci Hücre

*Kaba Flotasyon Devresi
Birinci Hücre Kabarcık
Hızı-Konsantr Altın
Tenörü Doğrusal
Regresyon İstatistikleri*

Çoklu R	0.909503
R Kare	0.827196
Ayarlı R Kare	0.805596
Standart Hata	0.531749
Gözlem	10

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	1	10.82822	10.82822	38.29523	0.000263
Fark	8	2.262052	0.282756		
Toplam	9	13.09028			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>	<i>Düşük 95.0%</i>	<i>Yüksek 95.0%</i>
Kesişim	6.176832	0.533603	11.5757	2.82E-06	4.946341	7.407323	4.946341	7.407323
Kabarcık Hızı	-0.04827	0.0078	-6.18831	0.000263	-0.06626	-0.03028	-0.06626	-0.03028

Kaba Flotasyon Devresi Sonuncu Hücre

Kaba Flotasyon Devresi
Sonuncu Hücre Kabarcık
Hızı-Konsantre Altın
Tenörü Doğrusal
Regresyon İstatistikleri

Çoklu R	0.795896
R Kare	0.63345
Ayarlı R Kare	0.602904
Standart Hata	2.964245
Gözlem	14

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	1	182.2171	182.2171	20.73771	0.000662
Fark	12	105.441	8.786751		
Toplam	13	287.6581			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>	<i>Düşük 95.0%</i>	<i>Yüksek 95.0%</i>
Kesişim	17.38101	3.025745	5.744375	9.24E-05	10.78848	23.97354	10.78848	23.97354
Kabarcık Hızı	-0.23521	0.051651	-4.55387	0.000662	-0.34775	-0.12267	-0.34775	-0.12267

Kaba Flotasyon Devresi Sonuncu Hücre Üstel Regresyon

<u>ANOVA</u>				
	df	SS	MS	F
Regresyon	1	288.0686297	288.0686297	225.96
Fark	13	16.57320301	1.27486177	
Toplam	14	304.6418327		

P-değeri	F-kritik = 4.667
0.0000000013	F-değeri > F-kritik

Regresyon İstatistiği

R Kare	0.95
Düzeltilmiş R Kare	0.94
Standard Hata	1.18

Kabarcık Hızı ile Konsantre Sülfür Tenörü İlişkisi

Flaş Hücre

Flaş Hücresi Kabarcık
Hızı-Konsantre Sülfür
Tenörü Doğrusal
Regresyon İstatistikleri

Çoklu R	0.782337
R Kare	0.612051
Ayarlı R Kare	0.58434
Standart Hata	6.049177
Gözlem	16

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	1	808.2264	808.2264	22.08719	0.000341
Fark	14	512.2955	36.59254		
Toplam	15	1320.522			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>	<i>Düşük 95.0%</i>	<i>Yüksek 95.0%</i>
Kesişim	47.60715	3.018608	15.77123	2.62E-10	41.13288	54.08142	41.13288	54.08142
Kabarcık Hızı	-0.15684	0.033373	-4.6997	0.000341	-0.22842	-0.08526	-0.22842	-0.08526

Kaba Flotasyon Devresi Birinci Hücre

*Kaba Flotasyon Devresi
Birinci Hücre Kabarcık
Hızı-Konsantr Sulfür
Tenörü Doğrusal
Regresyon İstatistikleri*

Çoklu R	0.91761
R Kare	0.842007
Ayarlı R Kare	0.822258
Standart Hata	0.478341
Gözlem	10

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	1	9.755375	9.755375	42.6353	0.000182
Fark	8	1.830479	0.22881		
Toplam	9	11.58585			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>	<i>Düşük 95.0%</i>	<i>Yüksek 95.0%</i>
Kesişim	5.435965	0.480009	11.32471	3.33E-06	4.329063	6.542868	4.329063	6.542868
Kabarcık Hızı	-0.04582	0.007017	-6.52957	0.000182	-0.062	-0.02964	-0.062	-0.02964

Kaba Flotasyon Devresi Sonuncu Hücre

*Kaba Flotasyon Devresi
Sonuncu Hücre Kabarcık
Hızı-Konsantr Sulfür
Tenörü Doğrusal
Regresyon İstatistikleri*

Çoklu R	0.715784
R Kare	0.512347
Ayarlı R Kare	0.471709
Standart Hata	2.072605
Gözlem	14

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	1	54.15862	54.15862	12.60766	0.003991
Fark	12	51.54832	4.295693		
Toplam	13	105.7069			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>	<i>Düşük 95.0%</i>	<i>Yüksek 95.0%</i>
Kesişim	9.245591	2.115606	4.370186	0.000912	4.636083	13.8551	4.636083	13.8551
Kabarcık Hızı	-0.12823	0.036115	-3.55073	0.003991	-0.20692	0.04955	-0.20692	-0.04955