

**GALVANİK ETKİLEŞİMİN SÜLFÜRLÜ MİNERALLERİN
TEMAS AÇISINA ETKİSİ**

**THE EFFECT OF GALVANIC INTERACTION ON THE
CONTACT ANGLE OF SULPHIDE MINERALS**

DENİZ AYDIN

DOÇ.DR. N. METİN CAN

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2019

DENİZ AYDIN'ın hazırladığı “**Galvanik Etkileşimin Sülfürlü Minerallerin Temas Açısına Etkisi**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. N. Emre ALTUN

Başkan



Doç. Dr. N. Metin CAN

Danışman



Dr. Öğr. Üyesi Özlem BIÇAK

Üye



Dr. Öğr. Üyesi Ayşe ÜÇYILDIZ

Üye



Dr. Öğr. Üyesi Okay ALTUN

Üye



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

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK

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

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

beyan ederim.

21 / 06 / 2019



DENİZ AYDIN

YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKKLARI BEYANI

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

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

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

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

21 / 06 / 2019

(İmza)

Deniz AYDIN

ÖZET

GALVANİK ETKİLEŞİMİN SÜLFÜRLÜ MİNERALLERİN TEMAS AÇISINA ETKİSİ

Deniz AYDIN

Yüksek Lisans, Maden Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Doç. Dr. N. Metin CAN

Haziran 2019, 53 Sayfa

Kompleks sülfürlü cevherlerde bulunan bakır, çinko gibi metaller pirit cevheriyle birlikte bulduklarından öğütme ortamında ve sonrasındaki işlemlerde yüksek konsantrelerde bakır veya çinko istenilen durumlarda piritin yüzey ve kimyasal özelliklerinden dolayı flotasyonda yüksek konsantrelerde bakır ve çinko elde edilememektedir. Çünkü kompleks sülfürlü minerallerin yapısal, kimyasal ve fiziksel özelliklerinden dolayı elektrokimyasal özellikleri birbirlerinden farklılık göstermektedir. Pirit, kalkopirit ve sfaleritin elektrokimyasal olarak farklılıkları ve yarı-iletken durumları nedeniyle galvanik etkileşimleri temas açlarına ve palp potansiyellerine etki etmektedir. Bu durum minerallerin flotasyon davranışlarına etki etmektedir. Temas açısı flotasyon verimliliğini doğrudan etkileyen önemli parametrelerden bir tanesidir.

Bu çalışmada pirit, kalkopirit ve sfalerit mineralleri örnekleri ile yapılan deneyler ile galvanik etkileşimin, saf suda ve farklı toplayıcı derişimlerinin bulunduğu durumda temas açısına etkileri gözlemlenmiştir. Tek başına ve saf suda yapılan ölçümlerde artan pH'a bağlı olarak kalkopirit ve pirit minerallerinin temas açılarında azalmalar gözlemlenirken; sfalerit saf su ve toplayıcı olarak potasyum amil ksantat (KAX) kullanılarak yapılan ölçümlerde temas açısı vermemiştir. Galvanik etkileşimi incelemek amacıyla yapılan deneylerde sfaleritin, pirit ve kalkopirit ile temas etmesinden sonra temas açısı verdiği görülmüştür. Ayrıca galvanik etkileşimi incelemek amacıyla yapılan deneylerde palp potansiyellerinde azalmalar gözlemlenmiştir. Bununla beraber, minerallerin tek başına yapılan temas açısı ölçümlerinde pH' ın önemli bir faktör olması galvanik etkileşim durumunda aynı etkiyi göstermemektedir.

Anahtar Kelimeler: Sülfürlü Mineraller, galvanik etkileşim, temas açısı, flotasyon

ABSTRACT

THE EFFECT OF GALVANIC INTERACTION ON THE CONTACT ANGLE OF SULPHIDE MINERALS

Deniz AYDIN

Master of Science, Mining Engineering Department

Supervisor: Asst. Prof. N. Metin CAN

June 2019, 53 Pages

Since metals such as copper and zinc in complex sulphide ores are found together with pyrite ore, copper and zinc cannot be obtained in high concentrations in flotation due to the surface and chemical properties of pyrite in high concentrations in the grinding environment and in subsequent processes. Because of the structural, chemical and physical properties of complex sulphide minerals, electrochemical properties differ from each other. The electrochemical differences of the pyrite, chalcopyrite and sphalerite and their galvanic interactions due to their semiconductor states affect the contact angles and the pulp potentials. This situation affects the flotation behavior of minerals. Contact angle is one of the important parameters that directly affect flotation efficiency.

In this study, the effects of galvanic interaction on contact angle in pure water and in case of different collector concentrations were observed by experiments with pyrite, chalcopyrite and sphalerite samples. In the measurements performed without collector

and in pure water, decreases in contact angles of chalcopyrite and pyrite minerals were observed due to increasing pH; sphalerite did not give contact angle in pure water and measurements using potassium amyl xanthate (KAX) as collector. Experiments to investigate the galvanic interaction showed that sphalerite gives contact angle after contact with pyrite and chalcopyrite. In addition, decreases in pulp potentials were observed in experiments conducted to investigate galvanic interaction. However, the fact that pH is an important factor in the contact angle measurements of minerals does not show the same effect in case of galvanic interaction.

Keywords: Sulphide Minerals, galvanic interaction, contact angle, flotation

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmamda bilgi ve deneyimini esirgemeyen Danışmanım Doç.Dr. N. Metin CAN' a deneylerimi gerçekleőtirirken yaptıkları sonsuz destek ve bilgileri için Doç.Dr. İlkey Bengü CAN, Dr.Öğretim Üyesi Özlem BIÇAK ve Yasemin ÖZTÜRK' e teőekkürlerimi sunarım.

Tez çalıőmalarım sırasında maddi, manevi desteklerini ve her zor koşulda yardımlarını esirgemeyen Annem, Babam ve Kardeőim' e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1.GİRİŞ	1
2.GENEL BİLGİLER	2
2.1. Flotasyon	2
2.2. Temas Açısı.....	2
2.3. Sülfürlü Mineraller.....	6
2.3.1. Sülfürlü Minerallerin Yüzey Kimyası	6
2.3.2. Sülfürlü Mineraller için Toplayıcılar.....	9
2.4. Galvanik Etkileşim.....	10
3.DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	15
3.1. Malzeme ve Yöntem	15
3.1.1. Kimyasal Analiz	19
4.DENEY SONUÇLARI	20
4.1. Saf su ile yapılan Deneyler	20
4.1.1. Pirit	20
4.1.2. Kalkopirit.....	21
4.1.3. Sfalerit	21
4.2. Toplayıcı Kullanılarak Yapılan Deneyler	21
4.2.1. Pirit	22
4.2.2. Kalkopirit.....	23
4.3. Galvanik Etkileşimi İncelemek Amacıyla Yapılan Deneyler	25
4.3.1. Kalkopirit-Pirit	25
4.3.2. Pirit-Sfalerit	26
4.3.3. Kalkopirit-Sfalerit.....	27
4.4. Toplayıcı Kullanılarak Yapılan Deneyler	28
4.4.1. Kalkopirit- Pirit	28

4.4.2. Pirit-Sfalerit	30
4.4.3. Kalkopirit-Sfalerit.....	32
5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	35
5.1. Saf suda yapılan deneyler.....	35
5.2. Toplayıcı Kullanılarak Yapılan Deneyler	36
5.3. Galvanik Etkileşimi Ölçmek İçin Yapılan Deneyler	41
6.SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	53
KAYNAKÇA.....	54
ÖZGEÇMİŞ	59

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Bazı Metal Sülfürlerin Sudaki Çözünürlük Oranları	8
Çizelge 2.2. Bazı Sülfürlü Minerallerin Durum Potansiyelleri	12
Çizelge 3.1. Deneylerde Kullanılan Sülfürlü Minerallerin Kimyasal Analiz Sonuçları	19

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Temas açısının üç fazlı yüzeyde görünümünün şematik gösterimi	3
Şekil 2.2. Eğik yüzeyde büyüyen ve azalan temas açısı modeli	4
Şekil 2.3. Minerallerin kovalent ve iyonik bağlarına göre karakter yüzdeleri	7
Şekil 2.4. Tek sülfürlü mineralde galvanik etkileşimin gösterimi	11
Şekil 2.5. Farklı galvanik etkileşim modelleri.....	13
Şekil 3.1. Temas açısı ölçme düzeneğinin gösterimi.....	15
Şekil 3.2. Temas açısı ölçüm düzeneği.....	16
Şekil 3.3. Minerallerin galvanik etkileşim modeli gösterimi.....	18
Şekil 3.4. Deneyleerde kullanılan pirit, sfalerit ve kalkopiritin yüzeyleri.....	18
Şekil 4.1. Piritin saf suda pH göre temas açısı ve palp potansiyeli değerleri	20
Şekil 4.2. Kalkopirit saf suda pH göre temas açısı ve palp potansiyeli değerleri.....	21
Şekil 4.3. Piritin farklı KAX derişimlerinde temas açısı değişimi	22
Şekil 4.4. Farklı KAX derişimlerinde pH göre palp potansiyellerinin değişimi	23
Şekil 4.5. Kalkopiritin farklı KAX derişiminde ve pH' larda temas açısı değişimi	24
Şekil 4.6. Farklı KAX derişimlerinde ve pH' larda palp potansiyellerinin değişimi	25
Şekil 4.7. Kalkopirit ve Piritin galvanik etkileşiminin temas açısına ve palp potansiyeline etkisi	26
Şekil 4.8. Pirit-Sfalerit galvanik etkileşiminin temas açısı ve palp potansiyeline etkisi	27
Şekil 4.9. Kalkopirit ve Sfalerit galvanik etkileşiminin temas açısına ve palp potansiyeline etkisi	28
Şekil 4.10. Kalkopirit ve Pirit 4×10^{-5} M lık KAX derişiminde temas açısı ve palp potansiyeli değişimi	29
Şekil 4.11. Kalkopirit ve Pirit 8×10^{-5} M lık KAX derişiminde temas açısı ve palp potansiyeli değişimi	29
Şekil 4.12. Kalkopirit ve Pirit $1,6 \times 10^{-4}$ M lık KAX derişiminde temas açısı ve palp potansiyeli değişimi	30
Şekil 4.13. Pirit ve Sfaleritin 4×10^{-5} M lık KAX derişiminde temas açısı ve palp potansiyeli değişimi	31
Şekil 4.14. Pirit ve Sfaleritin 8×10^{-5} M lık KAX derişiminde temas açısı ve palp potansiyeli değişimi	31
Şekil 4.15. Pirit ve Sfaleritin $1,6 \times 10^{-4}$ M lık KAX derişiminde temas açısı ve palp potansiyeli değişimi	32

Şekil 4.16. Kalkopirit ve Sfaleritin 4×10^{-5} M lık KAX derişiminde temas açısı ve palp potansiyeli değişimi	33
Şekil 4.17. Kalkopirit ve Sfaleritin 8×10^{-5} M lık KAX derişiminde temas açısı ve palp potansiyeli değişimi	33
Şekil 4.18. Kalkopirit ve Sfaleritin $1,6 \times 10^{-4}$ M lık KAX derişiminde temas açısı ve palp potansiyeli değişimi	34
Şekil 5.1. Piritin değişik KAX derişimlerinde ve pH'larda ölçülen temas açıları.....	38
Şekil 5.2. Kalkopiritin değişik KAX derişimlerinde ve pH'larda ölçülen temas açıları	39
Şekil 5.3. Piritin pH'a göre palp potansiyelleri	40
Şekil 5.4. Kalkopiritin pH' a göre palp potansiyelleri	41
Şekil 5.5. Kalkopiritin, Pirit ile galvanik etkileşiminden sonra verdiği temas açısı değerleri	42
Şekil 5.6. Kalkopirit-Pirit galvanik çiftinin palp potansiyel değerleri.....	43
Şekil 5.7. Piritin, kalkopirit ile galvanik etkileşiminden sonra ölçülmüş temas açısı değerleri	44
Şekil 5.8. Piritin sfalerit ile galvanik etkileşiminden sonra temas açısı değerleri	45
Şekil 5.9. Kalkopiritin, sfalerit ile galvanik etkileşiminden sonra temas açısı değerleri	46
Şekil 5.10 Sfaleritin saf suda ve farklı toplayıcı derişimlerinde pirit ile galvanik etkileşiminden sonra temas açısı değişiminin gösterimi.....	47
Şekil 5.11. Sfaleritin, kalkopirit ile galvanik etkileşiminin saf suda ve farklı toplayıcı derişimlerinin temas açısına etkisi	48
Şekil 5.12. Sfalerit-Pirit galvanik çiftinin palp potansiyel değerleri	49
Şekil 5.14. Galvanik etkileşim modeli	50
Şekil 5.15. Pirit-Sfalerit galvanik etkileşim modeli	51

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

mV	Milivolt
°	Derece

Kısaltmalar

KAX	Potasyum Amil Ksantat
X	Ksantat
S	Elemental Sülfür
X ₂	Diksantojen
Fe	Demir
Cu	Bakır
Zn	Çinko

1.GİRİŞ

Madencilik endüstrisinde sülfürlü minerallerin flotasyonu 20.yüzyılın başlarına dayanmaktadır. Sülfürlü mineraller bakır, çinko, kurşun gibi baz metallerin kaynağını oluşturmakta ve bu metallerin kazanımı genellikle sülfürlü cevherlerin köpük flotasyonu işlemine tabii tutulmasıyla sağlanmaktadır. Flotasyon işlemi bu sebepten kompleks sülfürlü cevherlerin zenginleştirilmesinde önemli bir yere sahiptir.

Sülfürlü mineraller fiziksel, kimyasal ve yapısal özellikleri bakımından oldukça önemli bir yere sahiptir. Bu yüzden, sülfürlü minerallerin çeşitliliği diğer minerallere göre kristal ve elektriksel yapılarından kaynaklanmaktadır. Kompleks sülfürlü minerallerin bu nedenle seçicilik sorunu ortaya çıkmaktadır. Günümüzde baz metal kaynakların azalması nedeniyle cevher zenginleştirme işlemlerinin titizlikle yürütülmesi kaçınılmazdır. Bu noktada flotasyon devresinde en az cevher kaybıyla ve en yüksek enerji tasarrufu sağlanması açısından cevher yapısını bilmek ve ona göre işlem yapmak oldukça önem arz etmektedir. Bugünkü koşullarda baz metallerin talebin giderek artmaya devam etmesi nedeniyle dünyada da yeni kaynaklar ve araştırmalar sürdürülmektedir. Bu nedenle, kompleks sülfürlü cevherlerde bulunan bakır, çinko gibi metaller pirit cevheriyle birlikte bulduklarından öğütme ortamında ve sonrasındaki işlemlerde yüksek konsantrelerde bakır veya çinko istenilen durumlarda piritin yüzey ve kimyasal özelliklerinden dolayı flotasyonda yüksek konsantrelerde bakır ve çinko elde edilememektedir.

Bu çalışmada pirit, kalkopirit ve sfalerit minerallerinin değişik pH koşullarında saf suda ve toplayıcı (KAX) derişimlerinde temas açıları ölçülmüş ve birbiriyle pirit-kalkopirit, kalkopirit-sfalerit ve pirit-sfalerit ikili çiftlerin galvanik etkileşiminin temas açılarına ve palp potansiyellerine ve dolayısıyla mikro ölçekte flotasyon davranışlarına etkileri incelenmiştir.

2.GENEL BİLGİLER

2.1. Flotasyon

Flotasyon, çok küçük boyutta serbestleşen minerallerin fiziko-kimyasal özelliklerine bağlı olarak yapılan bir cevher zenginleştirme yöntemidir. Günümüzde flotasyon madencilik sektörünün yanı sıra kağıt ve atık suların geri dönüşüm işlemlerinde de kullanılmaktadır. Cevher zenginleştirme yöntemi olarak yüksek miktardaki cevherlere uygulanması açısından verimli bir yöntemdir. Flotasyon, gravite yöntemlerine göre zenginleştirilmesi çok verimli olmayan düşük tenörlü kompleks cevherlere uygulanabilmesiyle madencilik sektöründe önemli bir yere sahiptir [1, 2].

Flotasyon, sulu çözeltilerde su sevmez (hidrofobik) tanelerin hava kabarcıklarına yapışmaları ve hava kabarcıkları sayesinde yüzeye çıkarak köpük bölgesine yükselmesi işlemidir. Mineral yüzeyinin su sevmezlik derecesi minerallerin palp içerisine gönderilen hava kabarcığına yapışma oranına göre belirlenir. Gönderilen hava kabarcıkları mineral yüzeyine yapışmıyorsa, yüzey su sevmez (hidrofobik) demektir ve flotasyonda mineral yüzeyi-hava kabarcığı yapışması normal bir durumdur. Öte yandan çözeltilerde cevher, hava kabarcığı ile yapışmıyorsa su sever yani hidrofiliktir. Temas açısının göstergesi de mineral yüzeyinin suyu sever ya da su sevmez olduğudur [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9].

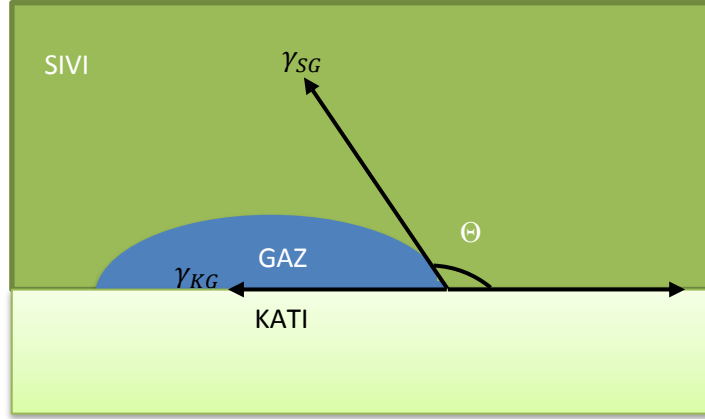
2.2.Temas Açısı

Temas açısı ölçümü ilk kez Thomas Young tarafından 1805'te gerçekleştirilmiştir. Günümüzde halen sıvı ile katı fazı arasındaki en doğru enerji etkileşimini tanımlamak için kullanılan yöntemdir [10]. Şekil 2.1' de denge halindeki üç fazlı durumda temas açısının gösterimi verilmiştir.

Young denkleminde göre üç fazlı temas hattında temas açısı yüzey gerilimlerinin dengesi ile belirlenebilmektedir [11] .

$$\lambda_{KG} = \lambda_{KS} + \lambda_{SG} \cos \theta \quad (2.1)$$

Burada; λ_{KG} ; katı-gaz fazları arasındaki yüzey gerilimi,
 λ_{KS} ; katı-sıvı fazları arasındaki yüzey gerilimi,
 λ_{SG} ; sıvı-gaz fazları arasındaki yüzey gerilimi,
 θ ; temas açısıdır.



Şekil 2.1. Temas açısının üç fazlı yüzeyde görünümünün şematik gösterimi

Temas açısı, katı ile sıvı-gaz arayüzeyi arasında ölçülür ve her zaman sıvı faz tarafından hesaplanır. Dupre ise adezyon kuvvetinin tersinir eşitliğini termodinamik açıdan açıklamıştır [12].

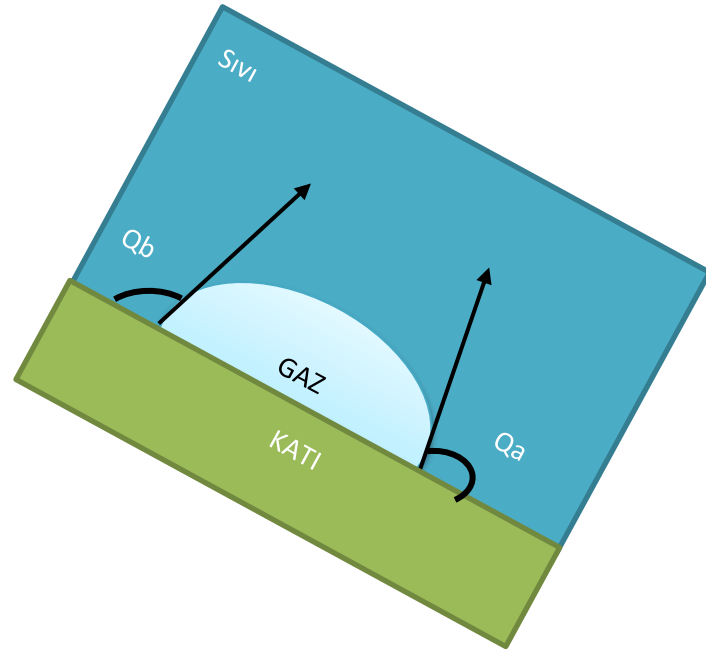
$$\Delta G = \gamma_{KG} - (\gamma_{KS} + \gamma_{SG}) \quad (2.2)$$

Dupre (2.2) ve Young (2.1) eşitlikleri birleştirildiğinde, serbest enerjideki değişim;

$$\Delta G_S = \gamma_{SG}(\cos \theta - 1) \quad (2.3)$$

Yüzeyin hidrofobik olması için (katı ile gazın yapışması) $\Delta G_S < 0$ ya da Young denkleminde göre sıvı-gaz yüzey geriliminin katı-sıvı ile katı-gaz arasındaki farktan büyük yada eşit olması gereklidir.

Young denklemi, üç fazın birbiriyle uyumlu olduğu ve yerçekiminin sıfır olduğu koşullarda söz konusudur [13]. Mineral yüzeyindeki pürüzler, eğimler, kirlilik ve deneysel etkiler yüzünden temas açıları eşit olmayabilir. Şekil 2.2' de eğik yüzeyde temas açısının şematik görünümü bulunmaktadır [3, 14].



Şekil 2.2. Eğik yüzeyde büyüyen ve azalan temas açısı modeli [14]

Şekil 2.2.' de görüldüğü üzere gaz yüzeyinin iki tarafından ölçülen açılar eşit değildir. Temas açısının gittikçe büyüyen kısmına θ_b , gittikçe azalan açısına ise θ_a denilmekte, büyüyen ve azalan temas açıları arasındaki fark histerisis olarak adlandırılmaktadır [3, 14].

Minerallerin hava kabarcığına yapışma oranı, çözeltiliye verilen gaz taneciklerinin minerale daha çabuk yapışması ve flotasyonun bir sonucu olarak kabarcık sayesinde mineralin yüzdürülebilmesidir. Mineral ne kadar hidrofobik ise temas açısı o kadar büyük olmalıdır [15].

Temas açısı birçok araştırma sonucunda flotasyon için önemli bir etken olduğu ortaya konularak; toplayıcı derişimleri ve çözeltilinin asidik-bazik dengesini bulmak için kullanılırken [16] ; bazı araştırmacılara göre temas açısı, mineralin hidrofobikliği üzerine net bir sonuç vermeyeceği yönündedir [17]. Ayrıca çalışmalara göre mineral yüzeyi ve topoğrafya koşulları da temas açısına etki edebilmektedir [18].

Temas açısı ölçümü katı düz bir yüzeyde yapıldığında damlacık çapı ile temas açısı arasında ters orantı görülmüştür. Damlanın çapı büyüdükçe temas açısı değerini azalır. Bunun nedeni damlacığa etki eden yer çekim kuvvetidir [19].

Temas açısının toplayıcı olarak ksantat varlığında gerçekleştirilen ölçümlerinde, düşük palp potansiyelinde ksantat iyonlarının platin elektroduna soğurulduğunda, temas açısının sıfır olduğu görülmüştür [20]. Temas açısı, ksantatın diksantojene yükseltgendiği palp potansiyel değerinin üzerinde ölçülmüştür. Kısa zincirli ksantat iyonları hidrokarbon zinciri etkisini yok eder. Ksantat iyonlarının suyu çeken polar kısımlarının hidrofobikliği arttırdığı bilinen CH_2 gruplarının etkisini önemli ölçüde azaltır [21]. Bu durum kısa zincirli ksantat iyonlarının oluşmasına neden olur ve bu durum mineralleri yeterince hidrofobik duruma getiremez. Buna rağmen elektriksel yük oksidasyon ile ortamdan uzaklaştırıldığında, yüzeye kimyasal şekilde absorbe olan ya da metal atomuna bağlanan veya diksantojenin diğer ksantat radikaline bağlanması ile sonuçlanır, bu durumda ksantat iyonunun polaritesi büyük ölçüde azalır. Su ile hidrokarbon zinciri arasındaki hidrofobik etkileşimler daha sonra ksantat iyonları tarafından etkisiz hale getirilir ve mineral yüzeyinde bulunan okside olmuş ksantat iyonlarının varlığı nedeniyle mineral yüzeyi hidrofobik olur. Bu durum alkali ksantatların zor çözünebilir özelliğe sahip olmasına rağmen diksantojenin çabuk çözünebilir olmasıyla açıklanabilir [22, 23].

Endüstriyel koşullarda temas açısı ölçümü yüzeyin heterojenliği nedeniyle oldukça zordur. Çünkü yüzey geometrisi ve kimyasal heterojenliği yüzünden temas açısında histerisis oluşumu kaçınılmazdır. Teoride, histerisis ile ilgili üç boyutlu analizin yanı sıra yüzey heterojenliği ve boyut etkisine göre temas açısı histerisisinin niteliğini belirlemek ana problemdir [24]. Bu durumla ilgili olarak birkaç yöntem bulunmasına rağmen halen yöntemlerin geçerliliği ve uygulanabilirliği hakkında tartışmalar devam etmektedir. Bu bağlamda Wenzel yüzey pürüzlülüğüne, Cassie ise yüzeyin kimyasal farklılığına göre temas açısı ölçüm yöntem teorileri geliştirmişlerdir. Gibbs eşitsizlik durum teorisi ise üç fazın bulunduğu durumda histerisis ölçme yöntemi olarak halen uygulanan ve geçerli bir uygulamadır [25].

Kısaca özetlemek gerekirse, temas açısının durağan koşullarda ölçüm teorileri mevcut olmasına karşın, dinamik koşullarda temas açısı ölçümü halen tartışma konusu olup termodinamiğe göre temas açısı yüzeyin kimyasal özelliklerine göre değişmektedir.

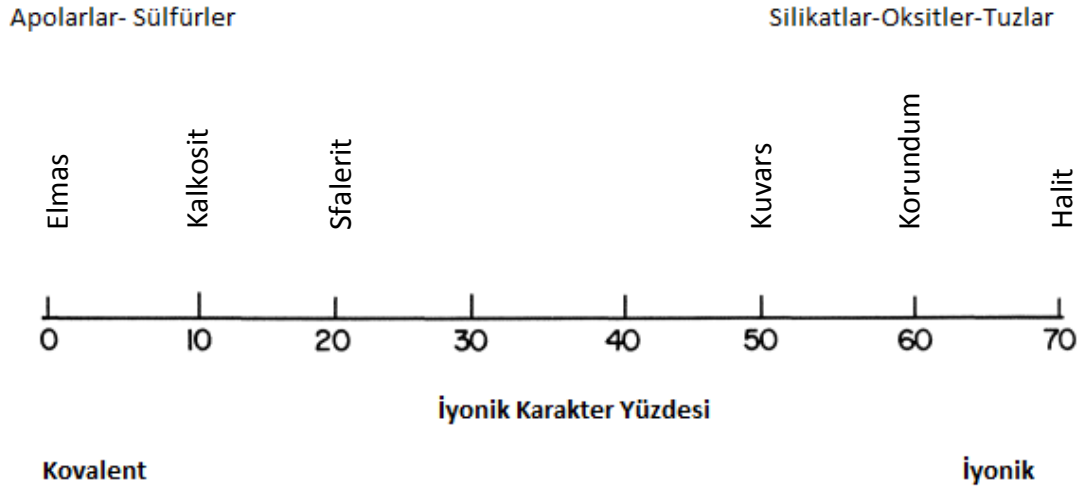
2.3. Sülfürlü Mineraller

2.3.1. Sülfürlü Minerallerin Yüzey Kimyası

Mineraller flotasyon davranışları bakımından sınıflandırılabilir [26].

1. Apolar ve ametal mineraller: Grafit, kömür, kükürt, talk. Bu mineraller doğal yüzebilme özelliğine sahiptir.
2. Ağır metallerin sülfürleri ve doğal metaller: Galenit, kalkopirit, pirit, sfalerit, altın, bakır vb.
3. Demir hariç metal oksitler: Serüzit, smitsonit, malahit vb.
4. Kalsiyum, magnezyum, baryum ve stronsiyum katyonları içeren polar, tuz tipi mineraller: Barit, kalsit, manyezit vb.
5. Oksitler, silikatlar ve alümina silikatlar: Kuvars, feldspatlar, hematit, pirolüsit vb.
6. Alkali ve toprak alkali minerallerin çözümlü tuzları: Silvit, longbenit, kolemanit, jips vb.

Minerallerdeki iyonik bağlar arttıkça mineralin su sever (hidrofilik) özelliği artar. Şekil 2.3' te çeşitli minerallerin iyonik/kovalent bağlı olma oranları gösterilmektedir [27, 28].



Şekil 2.3. Minerallerin kovalent ve iyonik bağlarına göre karakter yüzdeleri [26]

Mineralin hidrofobik yani gaz kabarcığına yapışıp yerçekimine karşı koyabilmesi; ortamdaki kohezyon (aynı tür moleküllerin birbirini çekmesi) kuvvetinin adhezyon kuvvetinden büyük olması demektir. Su çözeltisinde sülfürlü mineraller çok az çözünmektedir (Çizelge 2.1) ve bu yüzden, sulu çözeltilerde sülfürlü minerallerin aktif davranış göstermesi beklenmez. Fakat, oksitli minerallere nazaran sülfürlü minerallerin flotasyondaki davranışları sadece ortamın asit-baz durumuna göre değişmeyip; ortamın palp potansiyeli ve indirgenme-yükseltgenme durumu da önem taşır [29, 30, 31]. Sülfürlü mineraller, ortamda bulunan oksijen nedeniyle yüzeylerinde yükseltgenme reaksiyonu sonucunda S^{-2} , S^0 , $S_2O_3^{-2}$ SO_4^{-2} ve metal iyonları veya pH^7 ya bağlı olarak metal oksitleri/ sülfoksitleri oluşur. Oluşan yükseltgenme sonucu iyonların çözünürlüğü sülfürlü minerallerinkinden çok daha yüksektir; böylelikle mineraller daha hidrofilik hale gelecektir. Örneğin PbS : 3.4×10^{-28} , $PbSO_4$: $10^{-7.9}$, $PbSO_3$: $10^{-11.1}$ ve $Pb(OH)_2$: $10^{-14.4}$ [32].

Çizelge 2.1. Bazı Metal Sülfürlerin Sudaki Çözünürlük Oranları [33].

Sülfürlü Mineral	Çözünürlük Oranı
FeS	2.5×10^{-19}
ZnS	2.6×10^{-26}
PbS	3.4×10^{-28}
CuS	4.0×10^{-36}
Cu ₂ S	8.0×10^{-49}
Ag ₂ S	6.3×10^{-52}

Sülfürlü cevherlerde genellikle diğer cevher gruplarına göre sülfürlü minerali oluşturan moleküller arasında kovalent bağ bulunmaktadır. Sülfürlü minerallerin metalik özellik göstermeleri mümkündür [34, 35, 36] ve sülfürlü mineraller oluşturdukları bağlar yüzünden yarı iletkenlerdir [37].

FeS₂-COS₂-NiS₂-CuS₂ gibi disülfid grubundan elektronik değişimlerinde diğer özelliklerinin de değişebildiği görülmüştür. Boş elektron sayısı arttıkça, minerallerin parlaklığı artış göstermektedir. Bu durumda sülfürlü minerallerin yüzey kimyasının modellenmesinde karşımıza çıkmaktadır [38].

Aynı mineraller farklı jeolojik oluşumlar nedeniyle fiziksel ve kimyasal özellik bakımından farklı olabileceği gibi kristal yapısı ve minerallerin bağ özelliklerinde de değişiklik gösterebilirler [39]. Daha yaşlı jeolojik oluşumdaki mineraller daha genç minerallere göre daha az okside olma potansiyelleri vardır. Bitişik iki katı faz tek katı faza göre daha çabuk okside olur. Bu yüzden, galen, kovellin ve sfalerit; piritin bulunduğu durumlarda yaklaşık 20 kat daha hızlı okside olabildikleri belirtilmektedir [26].

Sülfürlü minerallerden pirit ele alınacak olursa; kristal yapısı, manganez, kobalt, bakır, çinko, kadmiyum, osmium, rutenyum ve rodyumun doğal mineral sülfürleri ile izomorfiktir. Açıkçası, kompakt olarak sınıflandırılmamasına rağmen, pirit çok yoğun bir mineraldir. Her Fe atomu üç S atomu ile çevrilidir ve her S atomu en yakın bir komşu S atomuna ve en yakın Fe atomuna sahiptir. Pirit, FeS₂ ile FeS_{1.94} arasında değişken bir

kükürt eksikliğine sahiptir [40]. Dolayısıyla bu durum, piritin sülfürlü mineraller arasında en yüksek durum potansiyeline sahip olmasının temel nedenlerinden sayılabilir.

Mineralin Fe/S oranındaki artma ya da azalma, elektriksel özelliklerinde değişimler meydana getirir. Örneğin, elektron fazlası olan mineraller n-tipi yarı iletken olarak, elektron eksikliği olan mineraller ise p-tipi yarı iletken olarak adlandırılırlar. Minerallerin elektriksel iletkenliğindeki farklılık, flotasyon prosesindeki davranışlarını etkilemektedir [41, 42].

2.3.2. Sülfürlü Mineraller için Toplayıcılar

Sülfürlü minerallerin flotasyonunda, işlemin daha verimli hale getirilmesi nedeniyle mineral yüzeyini hidrofobik yapmak için kullanılan reaktiflere toplayıcı (kollektör) denilmektedir. Sülfürlü mineraller için kullanılan toplayıcılar anyonik grubuna dahil olup; sülfidril grubuna bağlı olan ksantat, ditiyofosfat ve ditiyokarbamatlar sülfürlü mineraller için yüzeyi hidrofobik yapmayı sağlayan kimyasallardır. Mineral yüzeyi ile kükürt atomu ile reaksiyona girerek azot ve oksijen atomları ve diğer gruplarla bağ özelliklerini değişime uğratar [44].

Sülfürlü minerallerin seçimli flotasyonunda tiyol toplayıcı türünün daha başarılı sonuçlar verdiğinin önemine dikkat çekilmiştir [45]. Katı ile sıvı fazdaki elektron transferi içeren toplayıcı ile mineral yüzeyi arasında gerçekleşen reaksiyon elektrokimyasal nedenlerle oluştuğu ileri sürülmüştür. Bu duruma göre yükseltgenme reaksiyonu mineral ile toplayıcı arasında gerçekleşecek, ortamın elektron transferi için ise oksijen katodik olarak indirgenecektir [46].



Burada;

MS; Sülfürlü mineral

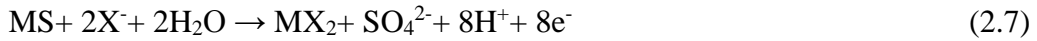
X⁻; Ksantat

X₂; Diksantojendir

Yüzeyde oluşan ksantat veya diksantojen sayesinde mineral hidrofobik hale gelerek yüzdürülebilir.

Sülfürlü minerallerin toplayıcı ile etkileşiminin çözelti pH ve ksantat zinciri uzunluğu ile orantılı olduğu anlaşılmıştır. Çözeltinin pH'ı azaldıkça ve ksantat zinciri uzunluğu arttıkça toplayıcı veriminin arttığı gözlemlenmiştir. Sülfürlü minerallerin toplayıcılarla olan reaksiyonu sonucunda minerale bağlı olarak diksantojen veya metal-ksantat oluşumu görülmüştür [47].

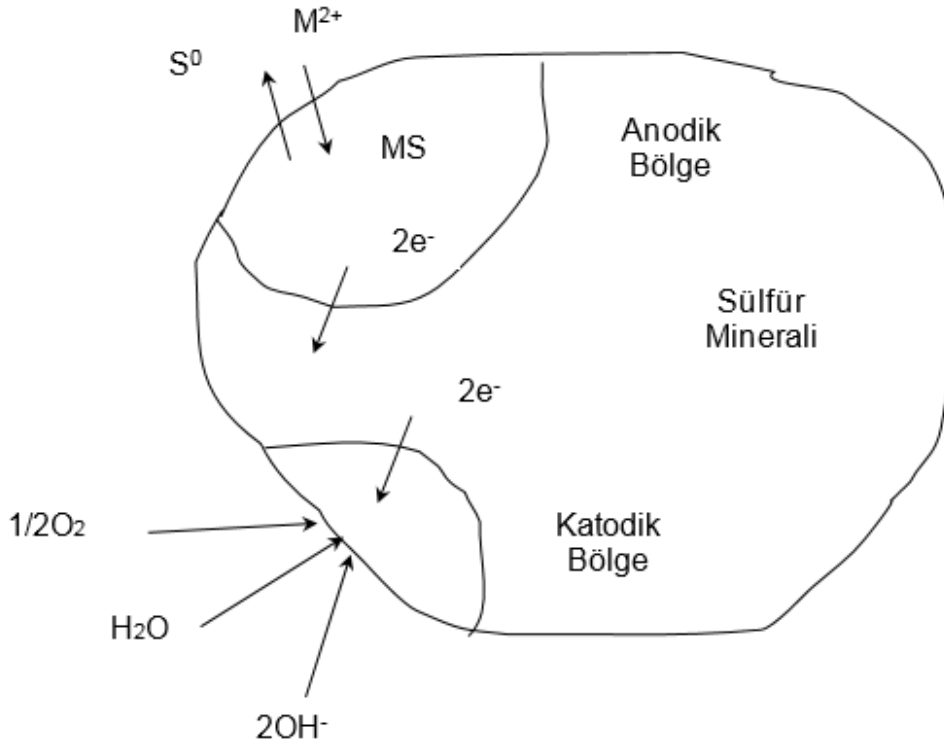
Mineral yüzeyindeki sülfür bileşenleri sülfat veya tiyosülfat gibi sülfür-oksi anyonlarına da yükseltgenebilir [3].



2.4. Galvanik Etkileşim

Galvanik etkileşim, elektriği ileten mineraller arasında görülen bir olaydır. Asidik ortam baz alındığında birbirine temas eden iki mineral, düşük durum potansiyeline sahip anot çifti olarak davranan mineral hızla korozyona uğrar ve yüksek durum potansiyeline sahip mineral katot olarak davranır [48, 49, 50, 51].

Bunun yanı sıra, iki mineralin temasına gerek duyulmaksızın tek sülfürlü mineralde bulunan farklı oluşumlarda da galvanik etkileşim görülmektedir. Şekil 2.4.' te tek mineralde galvanik etkileşim reaksiyonu gösterilmektedir [52].



Şekil 2.4. Tek sülfürlü mineralde galvanik etkileşimin gösterimi [52]

Tek mineral üzerinde galvanik etkileşimin gösterimi daha açıklayıcı olmayabilir. Genellikle iki sülfürlü mineralin birbirine temasında veya her iki sülfürlü mineralin öğütme ortamında çelik bilya ile öğütülmesi sırasında galvanik hücre oluşmasıyla karşılaşılmaktadır. Bu durum sülfürlü mineraller arasındaki durum potansiyelindeki farktan kaynaklanmaktadır. Pozitif durum potansiyeline sahip mineral katot olarak davranırken, diğer sülfürlü minerale göre daha az durum potansiyeline sahip mineral anot olarak davranır [53].

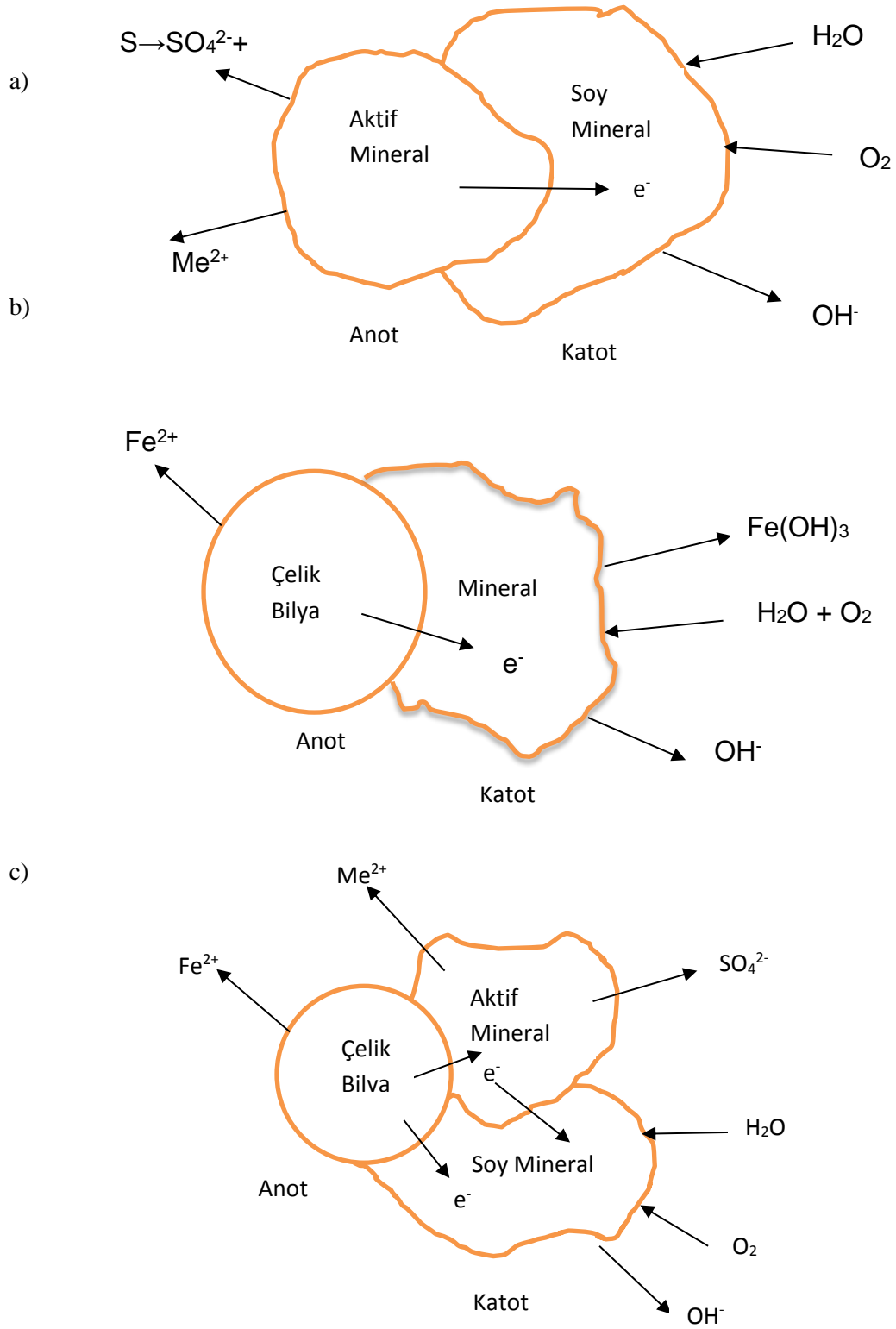
Çizelge 2.2’de bazı sülfürlü minerallerin durum potansiyelleri gösterilmektedir [53]. Görüleceği üzere en yüksek durum potansiyeline sahip sülfürlü mineral pirittir. Bu mineral, elektrokimyasal olarak en soy veya en çok katodik mineralidir.

Çizelge 2.2. Bazı Sülfürlü Minerallerin Durum Potansiyelleri [53].

Mineral	Durum Potansiyeli SHE (V)
Pirit	0.63
Kalkopirit	0.52
Kalkosit	0.44
Kovellin	0.42
Galen	0.28
Sfalerit	-0.24

Çizelge 2.2' de görüldüğü üzere iki sülfürlü mineral arasındaki galvanik etkileşim mineraller arasındaki durum potansiyel farkından oluşur. Mineraller veya öğütme ortamındaki çelik bilyenin elektrokimyasal özellikleri birbirinden farklı olduğu için aralarında galvanik hücre oluşmaktadır [53].

Bu durumda pirit yüksek durum potansiyeline sahip olduğundan daha düşük durum potansiyeline sahip minerallerle temas edince elektron transferi anotta (düşük durum potansiyelli mineral) katoda (soy mineral-pirit) doğru gerçekleşir. Pirit elektron alıcısı, diğer mineral ise elektron vericisi olacaktır. Oksijen pirit yüzeyinde indirgenecek, diğer mineralin yükseltgenmesi neticesinde mineral yüzeyinde elemental sülfür oluşacaktır [3, 54].



Şekil 2.5. Farklı galvanik etkileşim modelleri; (a) aktif-soy mineral çifti, (b) çelik bilya-mineral, (c) çelik bilya ve iki farklı mineral [55]

Kompleks sülfürlü cevherlerde bulunan piritin mineralin oksidasyonunu hızlandıracağı ve piritin elemental sülfür oluşumunu destekleyeceği ve ayrıca piritin diğer minerallerle galvanik etkileşiminde diğer minerallerin yükseltgenmesinin artıracaağı belirtilmiştir [56].

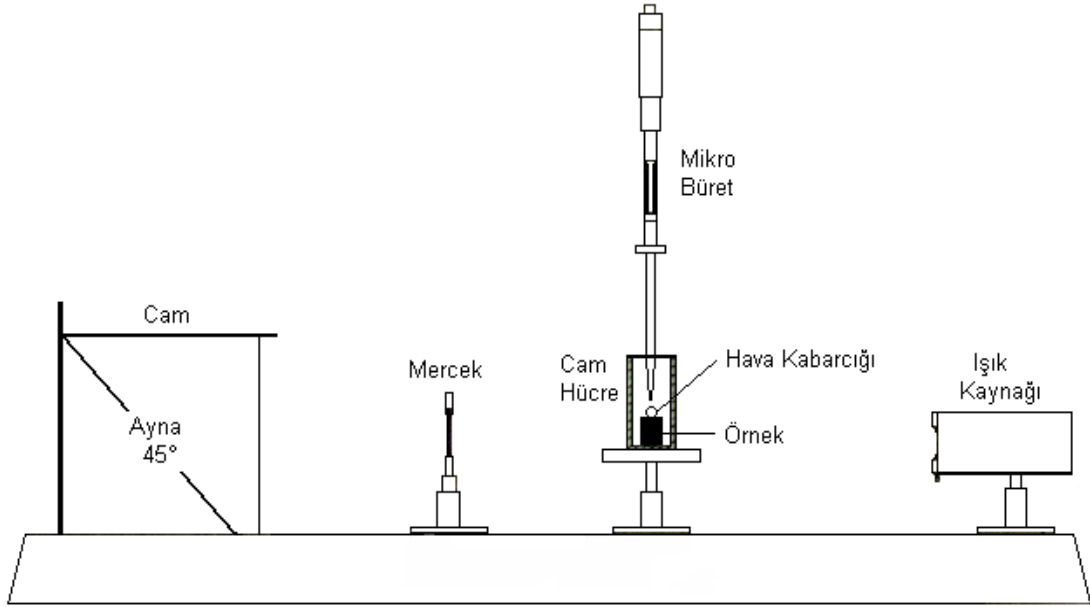
Galvanik etkileşimin niteliksel olarak açıklanmasının yanı sıra, birbirine temas eden iki mineralin elektrokimyasal olarak palp potansiyellerin azaldığına ve bu durumun sebebinin minerallerin kütle transferleri ve kinetik özelliklerindeki değişimden kaynaklandığını açıklamışlardır [57].

Pirit ve sfaleritin galvanik etkileşiminde oksijen iyonları ne kadar fazla olursa zltiye geçecek olan Zn^{2+} iyonlarının da bir o kadar artış göstereceği ayrıca zltiye oksijen yerine verilen azot gazının Zn^{2+} iyonlarının zltiye geçme hızını yavaşlatacağı ve böylelikle galvanik etkileşimini azaltacağını belirtmişlerdir [58].

3.DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Malzeme ve Yöntem

Deneylerde, pirit, kalkopirit ve sfalerit mineral örnekleri temin edilerek küp şeklinde kesilmiştir. Flotasyonda mineralin ne kadar yüzebilir olduğunu öğrenmek amacıyla temas açısını ölçmek için bir deneysel düzenek kurulmuştur. Deneysel düzenek Şekil 3.1 ve 3.2’ de gösterildiği gibi, bir ışık kaynağı, örneklerin ve çözeltinin içinde bulunduğu 12x6x5 cm’ lik dikdörtgen hücre, optik lens, mikrobüret, 45° ile yerleştirilmiş ayna ve görüntünün yansıdığı buzlu camdan oluşmaktadır [3] .



Şekil 3.1. Temas açısı ölçme düzeneğinin gösterimi



Şekil 3.2. Temas açısı ölçüm düzeneği

Deneylerde kullanılan mineral yüzeyleri, Struers marka parlatma makinesiyle her deneyden sonra aşındırılarak yüzeyleri temizlenmiştir.

Ölçümler, üç farklı pH'da (5, 8, 10) önce sadece saf suda yapılmıştır. Daha sonra aynı pH'larda farklı derişimler ile (4×10^{-5} M, 8×10^{-5} M ve $1,6 \times 10^{-4}$ M) toplayıcı (potasyum amil ksantat-KAX) kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir.

Galvanik etkileşimi inceleyebilmek amacıyla yapılan deneyler saf suda ve toplayıcı kullanılarak, üç farklı pH'da (5, 8, 10) yapılmıştır. Pirit-Kalkopirit, pirit-sfalerit ve sfalerit-kalkopirit yüzeyleri yaklaşık 20 dakika koşullandırıldıktan sonra pirit, kalkopirit ve sfalerit yüzeylerinin temas açıları ölçülmüştür.

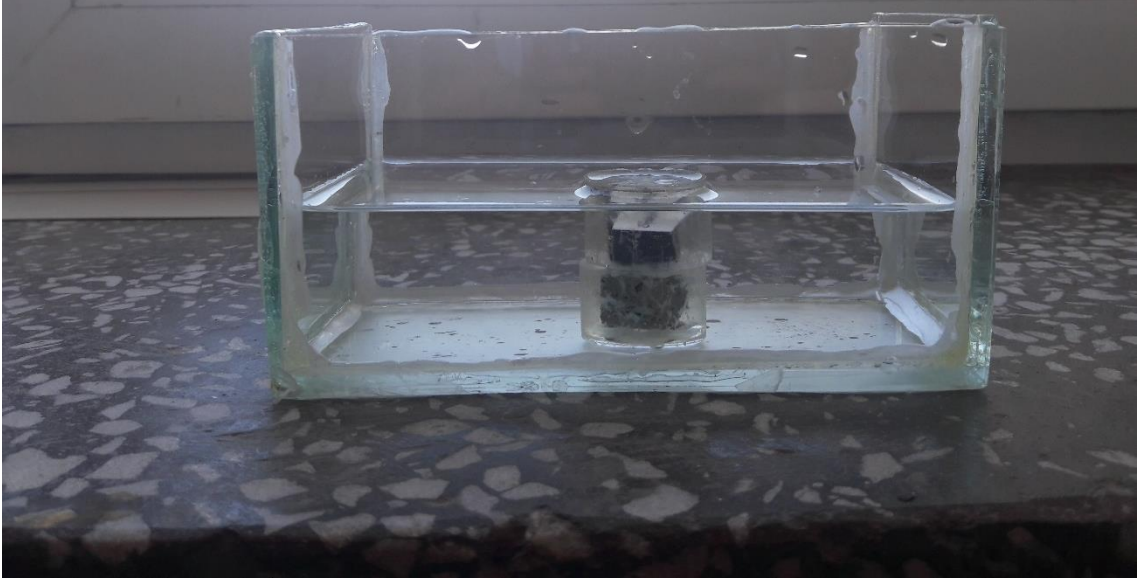
Deneylerde temas açısının yanı sıra palp potansiyeli de ölçülmüştür. Dikdörtgen cam hücre içerisine Platin ORP elektrodu yerleştirilerek öncelikle SCE (doymuş kalomel elektrot) değeri üzerinden palp potansiyeli ölçülmüş daha sonra 245 mV eklenerek SHE (Standart Hidrojen elektrodu) değerine çevrilmiştir [59]. Tepkime 3.1' de gösterilmektedir.

$$E_{SHE} = E_{SCE} + 245 \text{ mV} \quad (3.1)$$

Deneylerde kullanılan toplayıcı çözeltileri her deney başlangıcında yeniden hazırlanmıştır. pH'yı ayarlamak için H_2SO_4 ve CaO çözeltileri kullanılmıştır.

Deneyler sırasıyla aşağıdaki gibi hazırlanmıştır;

1. Hücre içerisine, belli bir miktar saf su ve toplayıcı konulmuş buna bağlı olarak pH ayarlanmıştır. pH elektrodu ve ORP elektrodu ölçüm başında ve sonunda dengeye gelene kadar hücre içerisinde tutularak başlangıç ve bitişteki pH ve potansiyeller kaydedilmiştir.
2. Örnek yüzeyleri (Şekil 3.4.), olası kirlenmelere ve oksitlenmeye karşı her ölçüm öncesinde ve sonrasında, parlatma makinesi (Struers) ile tekrar parlatılmış; saf su ve kullanılan elmaslı çözeltinin temizlenmesi için etil alkolle iyice yıkandıktan sonra hücreye konmuştur. Ayrıca her ölçümden sonra ORP elektrodu ve pH metre saf su ve gerekirse aseton yardımıyla temizlenmiştir.
3. Mineraller, yalnızca saf su ve toplayıcı ile yapılan deneylerde en az 15 dakika, hafif karıştırılarak koşullandırılmıştır.
4. Koşullandırma sonrasında mikrobüret ile hava kabarcığı örnek üzerine yapıştırılmaya çalışılmış ve eğer yapışmışsa temas açısı ölçülmüştür. Temas açısı, her koşul için (örn; pH 5' te 4×10^{-5} M lık KAX derişiminde mineral yüzeyine üç defa hava kabarcığı yapıştırılmıştır.) üçer kere ölçülmüştür.
5. Hücre ve örnek organik bileşiklerden temizlenmeleri için aseton ve ardından saf su ile iyice yıkandıktan sonra, 1. adımdaki sırayı takiben bir sonraki koşuldaki ölçümlere geçilmiştir.
6. Galvanik etkileşimi incelemek için yapılan deneyler (Şekil 3.3.) üç farklı pH'da (5, 8, 10) saf suda ve aynı pH'larda toplayıcı (KAX) kullanılarak yapılmıştır. Pirit-kalkopirit, pirit-sfalerit ve kalkopirit-sfalerit yüzeyleri temas ettirilerek 20 dakika koşullandırıldıktan sonra her iki yüzeyin ayrı ayrı temas açıları üçer kere ölçülmüştür. Her koşul sonrası mineral yüzeyleri parlatma makinesi ile temizlenmiştir.
7. ORP ve pH elektrodu her ölçümden sonra saf su ve aseton ile temizlenmiştir.



Şekil 3.3. Minerallerin galvanik etkileşim modeli gösterimi

Mineral çiftleri galvanik etkileşim oluşabilmesi için Şekil 3.3.' te gösterildiği gibi birbirlerine temas ettirilmiştir. Galvanik etkinin tam gözlemlenebilmesi için her ölçüm yaklaşık 25-30 dakika bekletilmiştir.



Şekil 3.4. Deneyleerde kullanılan pirit, sfalerit ve kalkopiritin yüzeyleri

3.1.1. Kimyasal Analiz

Deneyde kullanılan pirit, sfalerit ve kalkopirit minerallerinin kimyasal analizi Çizelge 3.1.' de yer almaktadır. Pirit ve kalkopirit mineralleri Murgul bakır madeninden temin edilmiş olup; sfalerit numunesi ise Wards Doğa Bilimleri Kuruluşundan gönderilmiştir.

Çizelge 3.1. Deneylerde kullanılan sülfürlü minerallerin kimyasal analiz sonuçları

Element	Mineraller		
	Pirit	Kalkopirit	Sfalerit
Fe	46,29	28,12	1,14
Cu	0,03	33,19	0,07
Pb	0,01	0,01	2,57
Zn	0,01	0,01	61,23
S	53,16	38,61	33,61
Toplam	99,50	99,94	98,62

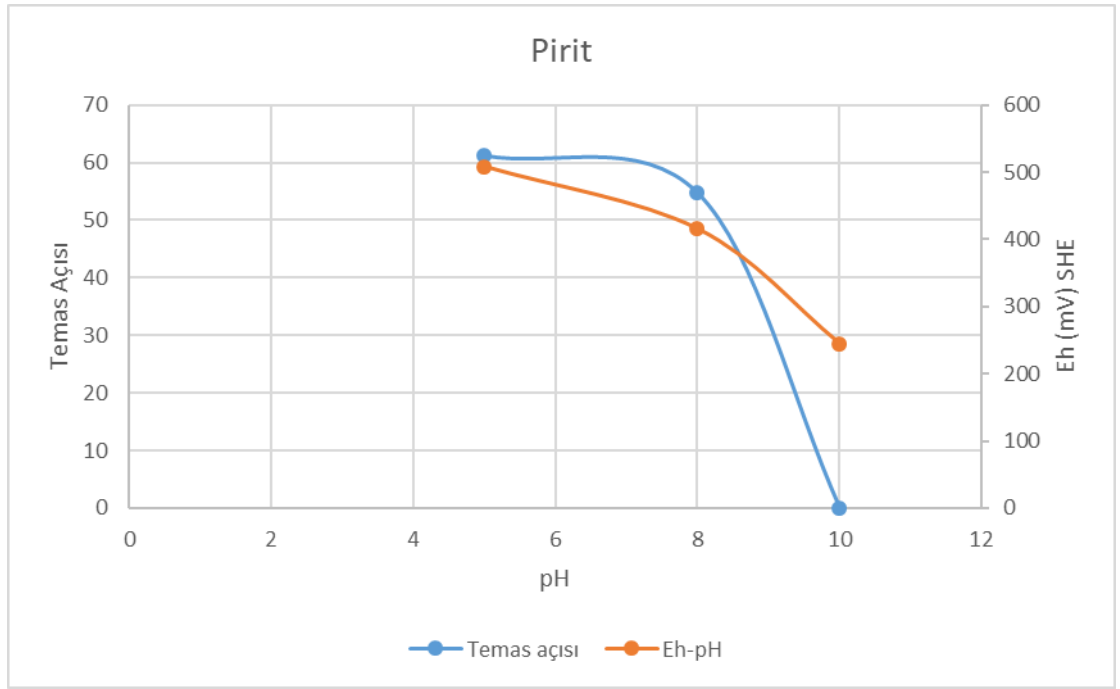
4.DENEY SONUÇLARI

4.1. Saf su ile yapılan Deneyle

Örneklerin, ortamda toplayıcı ve galvanik etkileşim durumunun bulunmadığı koşulları inceleyebilmek ve sonraki deneylere referans olması amacıyla sadece saf su içerisinde farklı pH' larda yapılan deneylerden elde edilen temas açısı ve palp potansiyeli değerlerine ilişkin sonuçlar aşağıda verilmiştir.

4.1.1. Pirit

Pirite ait saf suda, farklı pH'larda ölçülen temas açısı ve palp potansiyeli değerleri Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

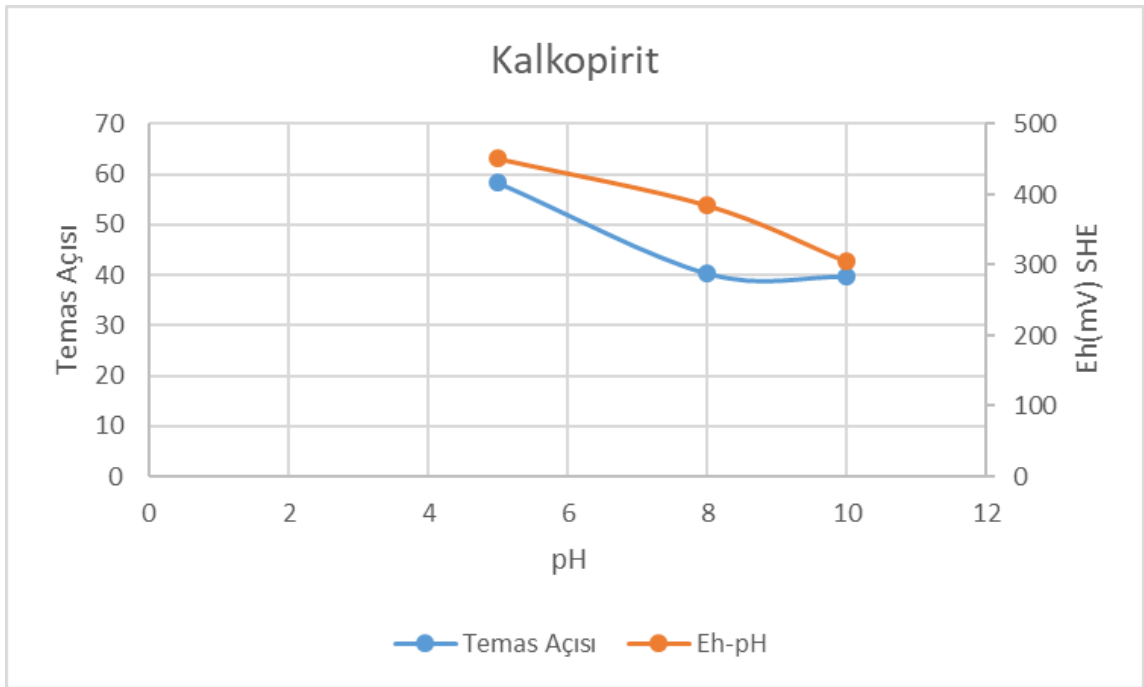


Şekil 4.1. Piritin saf suda pH göre temas açısı ve palp potansiyeli değerleri

Pirit, pH 5 ve 8'de temas açısı vermiştir; fakat pH 10'da temas açısı değeri ölçülemedi. pH 5'te yaklaşık 61° lik açı ölçülürken, pH 8' de 55° lik bir açı ölçülmüştür. Palp potansiyeli, artan pH ile azalmaktadır. pH 5 de 508 mV olan palp potansiyeli, pH 10'da yaklaşık 245 mV azalarak, 245 mV' a inmiştir.

4.1.2. Kalkopirit

Şekil 4.2’de kalkopirite ait deneysel sonuçlar gösterilmektedir. Bu örnek tüm pH’larda temas açısı vermiştir. pH 5’te temas açısı yaklaşık 58° ve palp potansiyeli yaklaşık 451 mV olarak ölçülmüştür. pH 8’ de temas açısı değeri yaklaşık 40° ölçülmüştür. pH 10’ da ise temas açısı değeri yaklaşık 39° olarak ölçülmüştür. Palp potansiyeli diğer örneklerde olduğu gibi pH’nın artmasıyla azaldığı burada da görülmüştür. pH 10’ da ölçülen palp potansiyeli 305 mV tur.



Şekil 4.2. Kalkopirit saf suda pH göre temas açısı ve palp potansiyeli değerleri

4.1.3. Sfalerit

Sfalerit, CuSO₄ ile aktive edilmediğinden temas açısı vermemiştir. Sfaleritin temas açısı değerleri diğer örneklerle galvanik etkileşiminden sonra ortaya konacaktır.

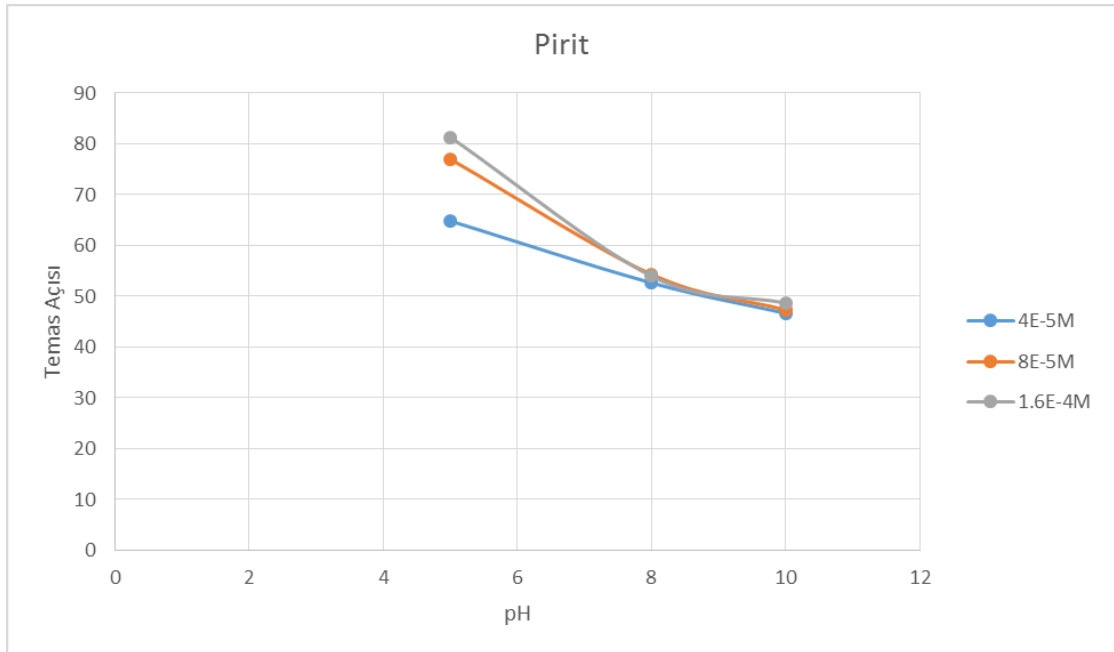
4.2. Toplayıcı Kullanılarak Yapılan Deneyler

Bu kısımda yapılan deneylerde toplayıcı olarak Potasyum Amil Ksantat (KAX) kullanılmıştır. Toplayıcı derişimlerine ise önceki çalışmalar baz alınarak karar verilmiştir [3]. Böylelikle örneklerin toplayıcı kullanımında, davranışlarındaki farklılıkları anlamak amacıyla, üç farklı KAX derişiminde (4×10^{-5} M, 8×10^{-5} M ve $1,6 \times 10^{-4}$ M) ve farklı

pH’larda (5, 8, 10) deneyler yapılmıştır. Yapılan deneylere ilişkin sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

4.2.1. Pirit

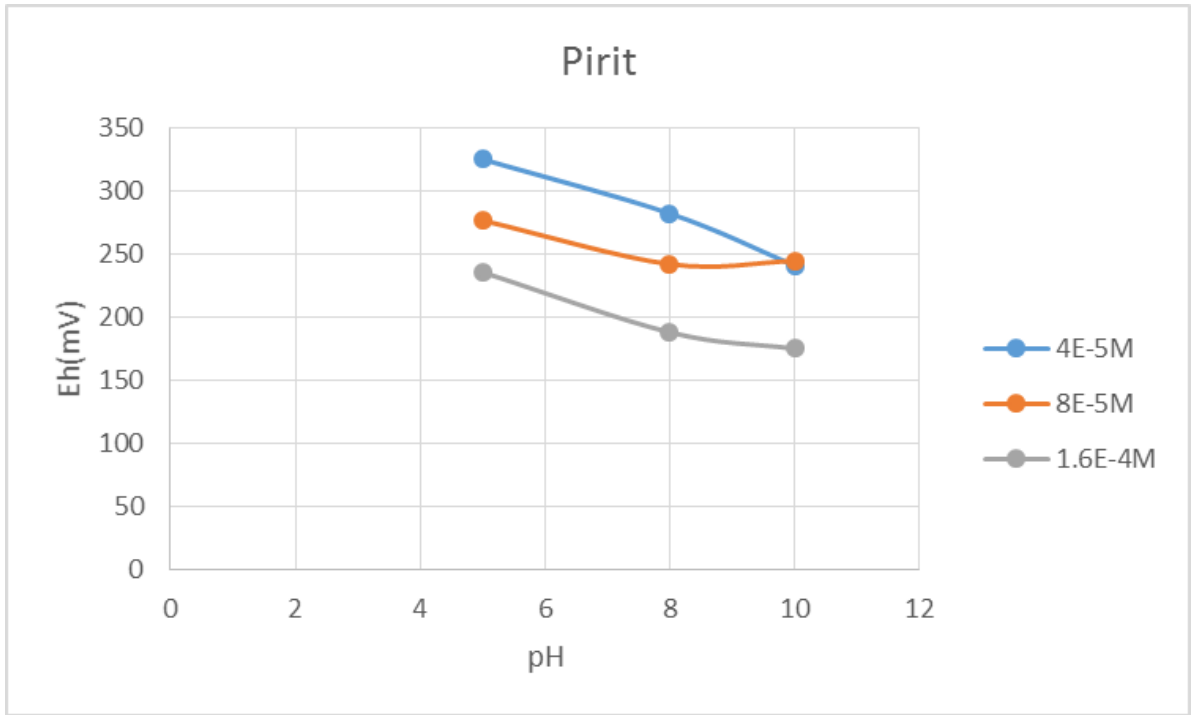
Şekil 4.3’ te üç farklı derişimde toplayıcı kullanılarak, değişik pH’larda ölçülen temas açıları görölmektedir. Saf su ölçümlerinde olduğu gibi sadece KAX kullanılarak alınan ölçümlerde de, artan pH ile temas açısının giderek azaldığı anlaşılmıştır. Deney yapılan bütün toplayıcı derişimlerinde ve alkali pH’da pirit, temas açısı vermiştir. En yüksek temas açıları bütün toplayıcı derişimleri için pH 5’ te ölçülmüştür. pH 5’ te 4×10^{-5} M KAX derişiminde yaklaşık 64° lik bir temas açısı ölçülürken; 8×10^{-5} M de yaklaşık 77° ölçülmüş olup $1,6 \times 10^{-4}$ M KAX derişiminde temas açısı değeri diğer ölçümlere göre en yüksek değeri vererek yaklaşık 81° olarak ölçülmüştür. 4×10^{-5} M KAX derişiminde pH 10’da yaklaşık 46° lik bir temas açısı ölçülürken 8×10^{-5} ve $1,6 \times 10^{-4}$ M KAX derişimlerinde ölçülen temas açıları birbirine yakın değerler görölmüştür. Bu durumda ölçülen temas açıları 47-48° dir. Şekil 4.3’ te toplayıcı derişiminin piritin temas açısına etkisi gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Piritin farklı KAX derişimlerinde temas açısı değişimi

Şekil 4.4' te KAX derişiminin palp potansiyeli üzerine etkisi görülmektedir. Bütün KAX derişimlerinde artan pH ile palp potansiyeli azalmaktadır. Palp potansiyeli artan $1,6 \times 10^{-4}$ M KAX derişimi ile daha da azalmıştır.

pH 5' te 4×10^{-5} M, 8×10^{-5} M ve $1,6 \times 10^{-4}$ M KAX derişimleri için ölçülen palp potansiyelleri sırasıyla, 325 mV, 277 mV ve 236 mV tur. pH 8' de palp potansiyelleri hızla azalmaktadır. pH 10' da $1,6 \times 10^{-4}$ M KAX derişiminin palp potansiyeli 175.5 mV olarak ölçülmüştür. pH 10 da hızla azalan palp potansiyeli değerleri 4×10^{-5} M, 8×10^{-5} M ve $1,6 \times 10^{-4}$ M KAX derişimleri için sırasıyla 241 mV, 245 mV ve 175.5 mV olarak kaydedilmiştir.

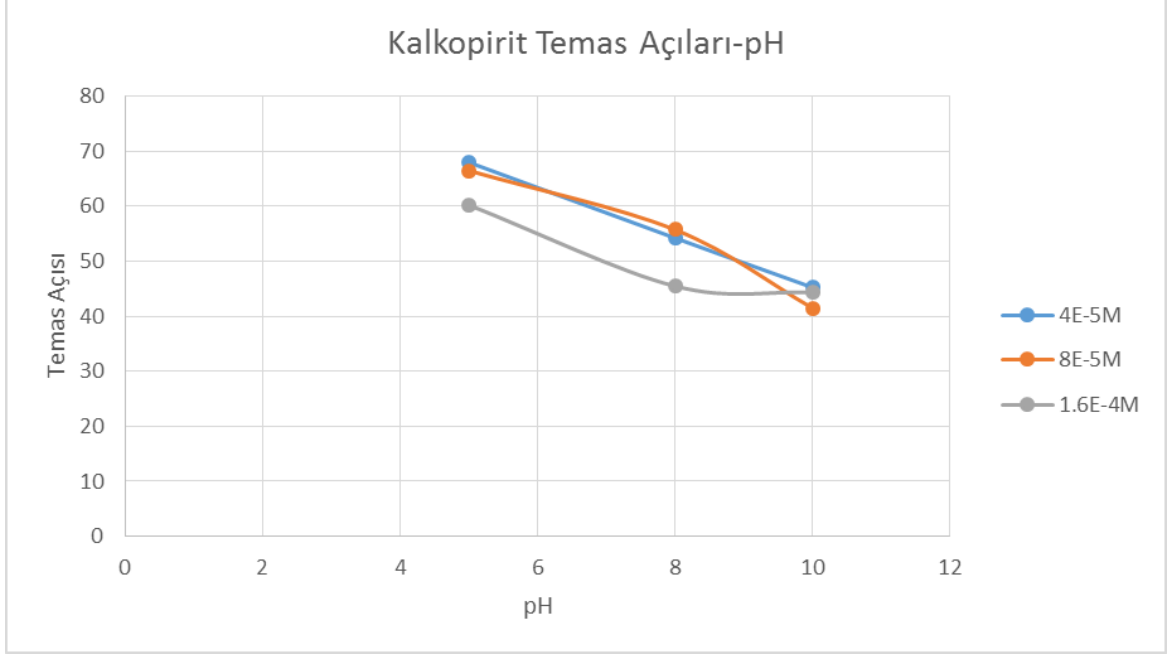


Şekil 4.4. Farklı KAX derişimlerinde pH göre palp potansiyellerinin değışimi

4.2.2. Kalkopirit

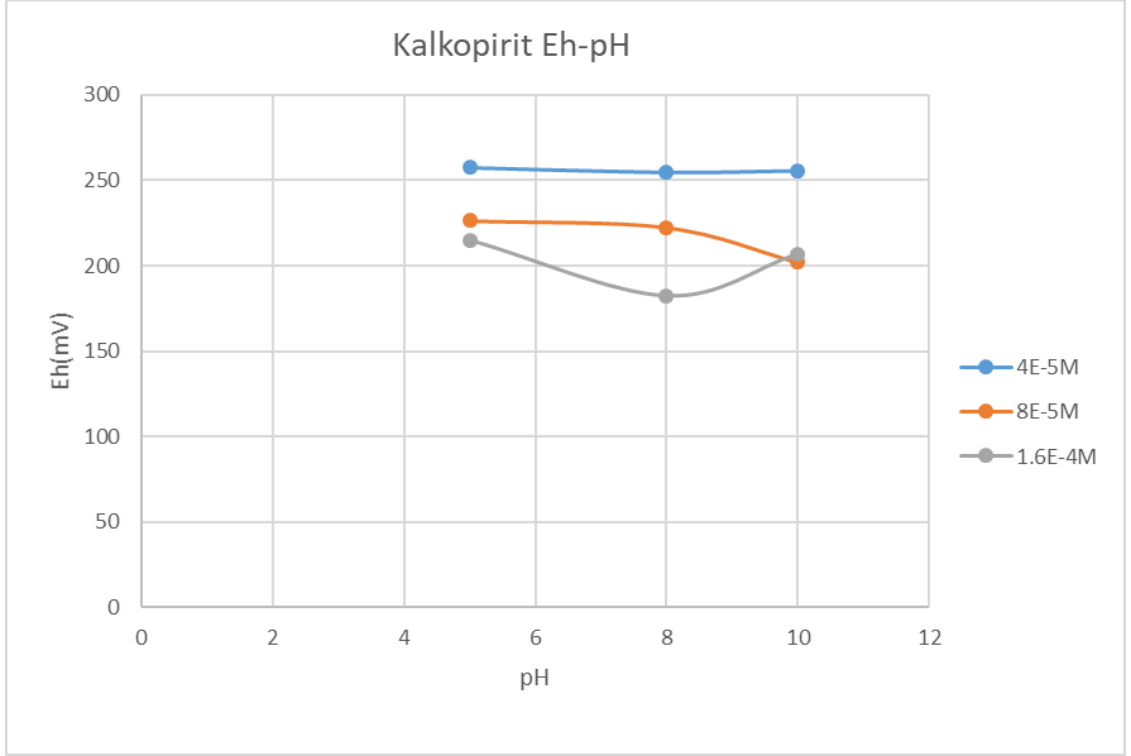
Şekil 4.5.' te kalkopirite ait sadece KAX ile yapılan deney sonuçları görülmektedir: Toplayıcı ile yapılan tüm deneylerde ve tüm pH'larda temas açısı ölçülmüştür. Artan pH ile temas açısı azalırken, artan KAX derişimine göre temas açıları azalış göstermiştir. Grafikte görüleceğı üzere (Şekil 4.5) asidik durumda yani pH 5' te en yüksek temas açıları ölçülmüş ve artan KAX derişimine göre sırasıyla 68° , 66° ve 60° civarında temas açıları kaydedilmiştir. Grafikten anlaşılacağı gibi pH 8'de, 4×10^{-5} M ve 8×10^{-5} M KAX

derişimlerinde ise 54° , 55° ve 45° temas açısı ölçülmüştür. pH 10'da ise 4×10^{-5} M, 8×10^{-5} M ve $1,6 \times 10^{-4}$ M KAX derişimlerinde 45° , 41° ve 44° temas açıları ölçülmüştür.



Şekil 4.5. Kalkopiritin farklı KAX derişiminde ve pH'larda temas açısı değişimi

Aşağıdaki grafikte (Şekil 4.6.) pH 5'te 4×10^{-5} M, 8×10^{-5} M ve $1,6 \times 10^{-4}$ M KAX derişimleri için ölçülen palp potansiyelleri sırasıyla 257 mV, 226 mV ve 215 mV olarak ölçülmüştür. pH 8'de gelindiğinde en fazla azalma $1,6 \times 10^{-4}$ M KAX derişiminde görülmüştür. pH 10'da palp potansiyeli değerleri 4×10^{-5} M, 8×10^{-5} M ve $1,6 \times 10^{-4}$ M KAX derişimleri için sırasıyla 255 mV, 202 mV ve 207 mV olarak ölçülmüştür.



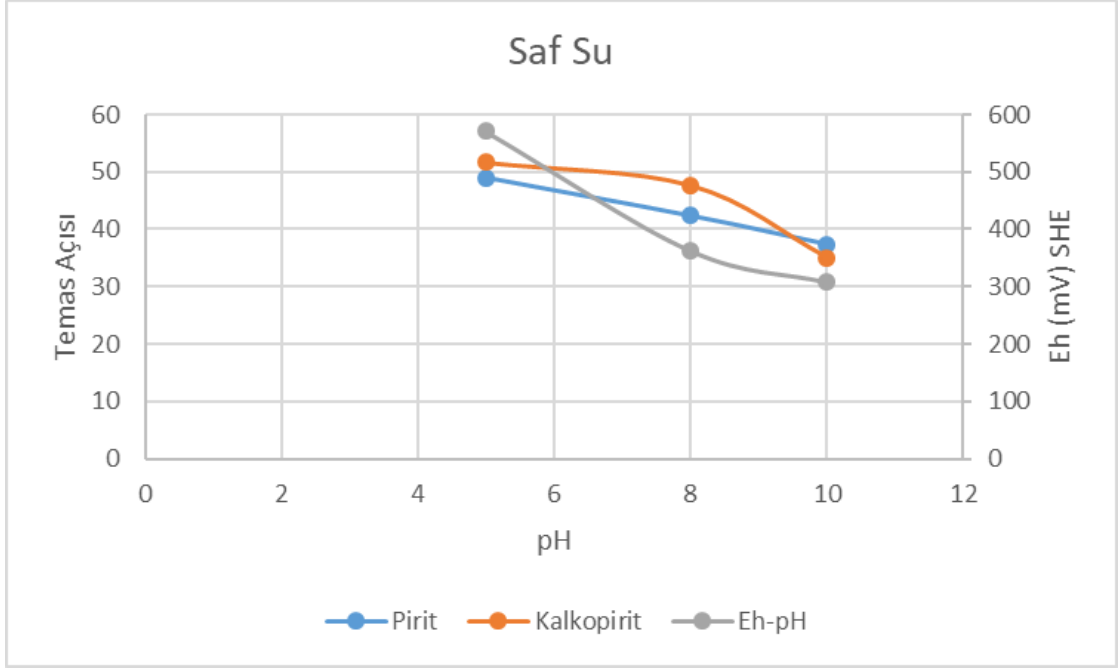
Şekil 4.6. Farklı KAX derişimlerinde ve pH' larda palp potansiyellerinin değişimi

4.3. Galvanik Etkileşimi İncelemek Amacıyla Yapılan Deneyler

Galvanik etkileşimin temas açısına etkisini inceleyebilmek için kalkopirit,pirit ve sfalerit örnekleri ikişer olarak gruplandırılarak (kalkopirit-pirit, kalkopirit-sfalerit ve pirit-sfalerit) saf suda ve toplayıcı kullanılarak farklı pH'larda (5,8,10) yüzeyler 15-20 dk birbirine temas ettikten sonra galvanik etkileşimin temas açlarına etkisi incelenmiştir.

4.3.1. Kalkopirit-Pirit

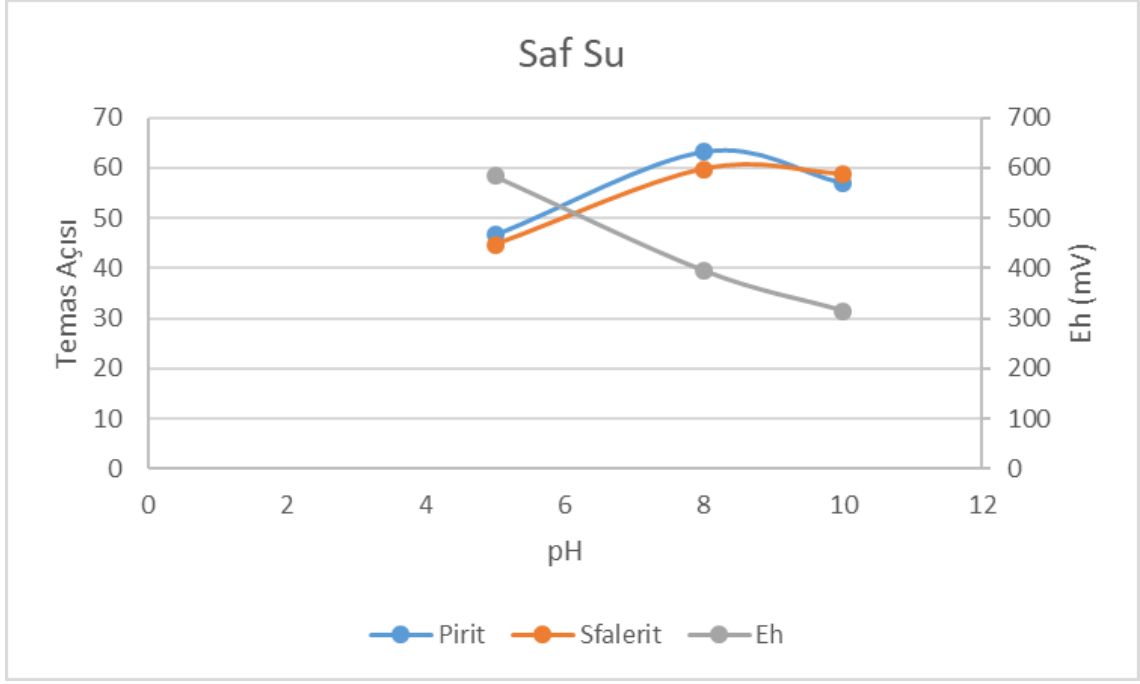
Şekil 4.7' de, kalkopirit ve pirit yüzeylerinin saf suda 15 dakika koşullandırıldıktan sonra temas açıları ve palp potansiyeli sonuçları gösterilmiştir. Saf suda pH 5' te kalkopirit ve piritin temas açısı sırasıyla 52°- 49° olarak ölçülmüştür. Artan pH ile temas açısı değerlerinin azalarak pH 10' da kalkopirit ve piritin temas açıları 35°- 37° dir. pH 5'te palp potansiyeli 570 mV civarındadır. pH 10'da ölçülen palp potansiyeli 307 mV'tur.



Şekil 4.7. Kalkopirit ve Piritin galvanik etkileşiminin temas açısına ve palp potansiyeline etkisi

4.3.2. Pirit-Sfalerit

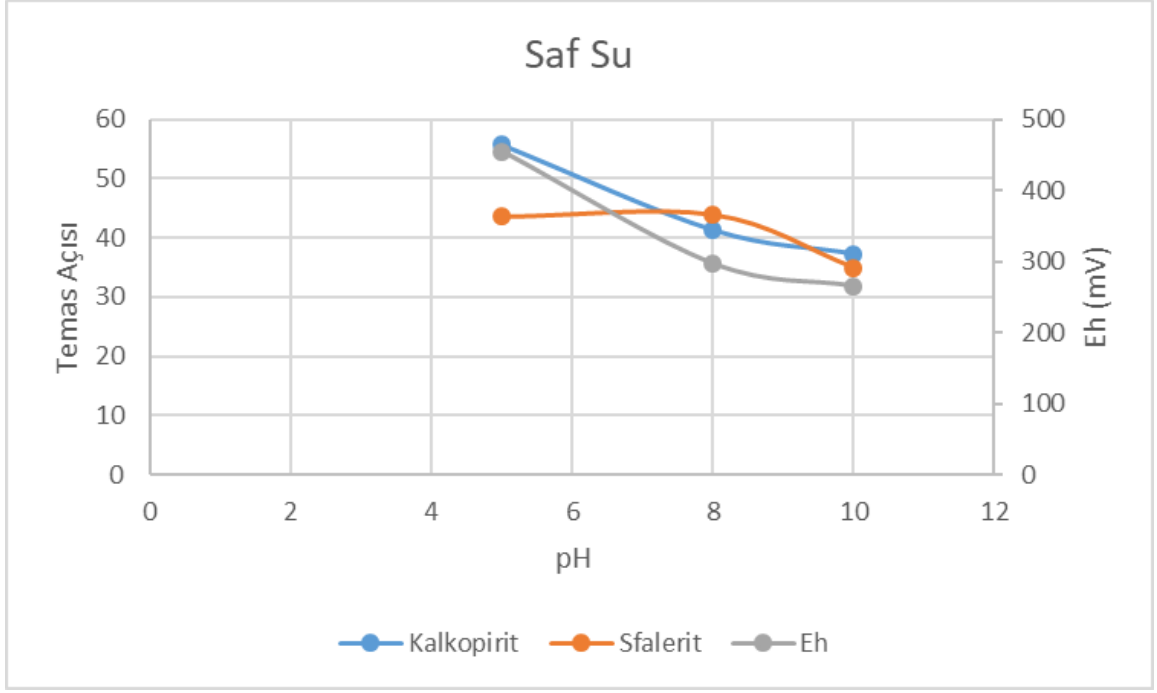
Şekil 4.8' de pirit ve sfalerit yüzeylerinin saf suda ve pH 5, 8 ve 10' da 20 dakika boyunca temas ettirildikten sonra pirit ve sfaleritin temas açıları ve palp potansiyeli değerlerinin nasıl değiştiği gösterilmiştir. Sfalerit tek başına saf suda temas açısı vermezken; pirit yüzeyi temas edildikten sonra CuSO_4 ile aktive edilmesine gerek kalmadan temas açısı vermiştir. Pirit ve sfaleritin saf suda en yüksek temas açısı değeri pH 8'de 63° ve 59° olarak ölçülmüştür. Palp potansiyelinin artan pH değerleri için sırasıyla 584 mV, 395 mV ve yaklaşık 314 mV civarında olduğu pH' a bağlı olarak azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.8. Pirit-Sfalerit galvanik etkileşiminin temas açısı ve palp potansiyeline etkisi

4.3.3. Kalkopirit-Sfalerit

Şekil 4.9’ da kalkopirit sfalerit yüzeylerinin saf suda temas ettirilmesinden sonra, temas açısı ve palp potansiyellerinin değişimi gösterilmiştir. Kalkopirit, pH 5’te en yüksek temas açısı değeri vererek 55° olarak ölçülmüş ve pH 8-10’ da temas açısı giderek azalarak 41° ve 37° kadar düşmüştür. Sfalerit, kalkopirit yüzeyi ile yaklaşık 20 dakika temas ettikten sonra temas açısı değerleri incelenmiştir. pH 5 ve pH 8’ de yaklaşık 44° olarak ölçülürken pH 10 ‘da 35° olarak ölçülmüştür. Palp potansiyelleri ise artan pH ile azalarak 454 mV, 296 mV ve son olarak 265 mV tur.



Şekil 4.9. Kalkopirit ve Sfalerit galvanik etkileşiminin temas açısına ve palp potansiyeline etkisi

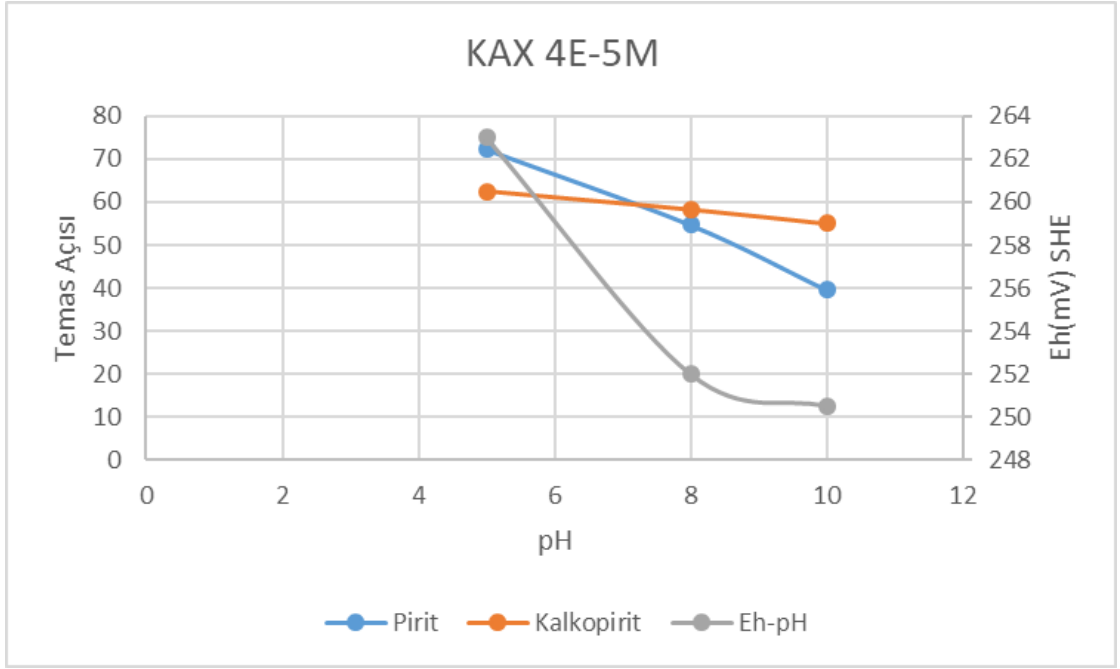
4.4. Toplayıcı Kullanılarak Yapılan Deneyler

Kalkopirit, pirit ve sfaleritin tek başına ölçümleri yapılırken kullanılan KAX (Potasyum Amil Ksantat) galvanik etkileşimi incelemek amacıyla yapılan deneylerde de aynı derişimlerde (4×10^{-5} M, 8×10^{-5} M ve $1,6 \times 10^{-4}$ M) toplayıcı olarak kullanılmıştır.

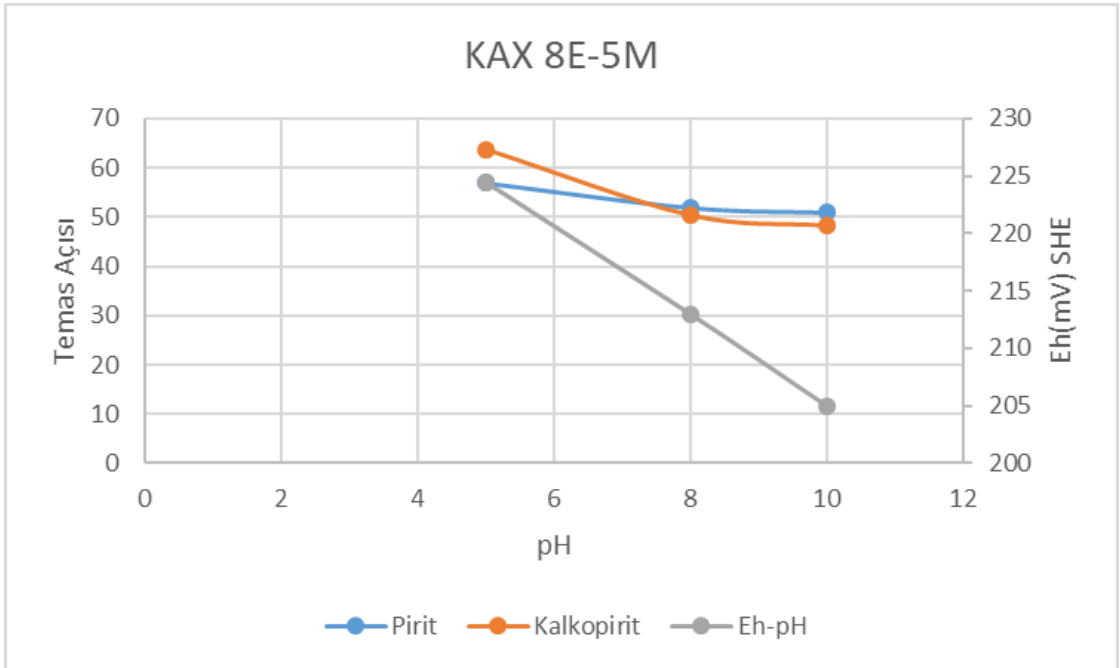
4.4.1. Kalkopirit- Pirit

Kalkopirit ve pirit yüzeyleri 4×10^{-5} M, 8×10^{-5} M ve $1,6 \times 10^{-4}$ M KAX derişiminde ve farklı pH' larda (5, 8 ve 10) yaklaşık 15 dakika yüzeylerin birbirleriyle temas etmesinden sonra kalkopirit ve pirit yüzeylerinin temas açıları tek başına ölçümlere göre değişim göstermiş ve artan derişimlere göre kalkopirit temas açısı pH 5'te 4×10^{-5} M derişiminde yaklaşık 62° ve 8×10^{-5} M - $1,6 \times 10^{-4}$ M KAX derişimlerinde pH 5'te yaklaşık 64° - 80° olarak ölçülmüştür. $1,6 \times 10^{-4}$ M KAX derişiminde kalkopirit 76° temas açısı vermiştir. pH 10' da kalkopirit yüzeyinin temas açısı ölçümünde $1,6 \times 10^{-4}$ M KAX derişiminde yaklaşık 64° olarak ölçülmüştür. Kalkopirit ve pirit yüzeylerinin temas etmesinden sonra piritin artan derişimlere göre temas açısı değerleri, pH 5 'de $1,6 \times 10^{-4}$ M 78° olarak ölçülmüştür. Şekil 4.10' da 4×10^{-5} M lık KAX derişimine ait, Şekil 4.11' de 8×10^{-5} M lık KAX

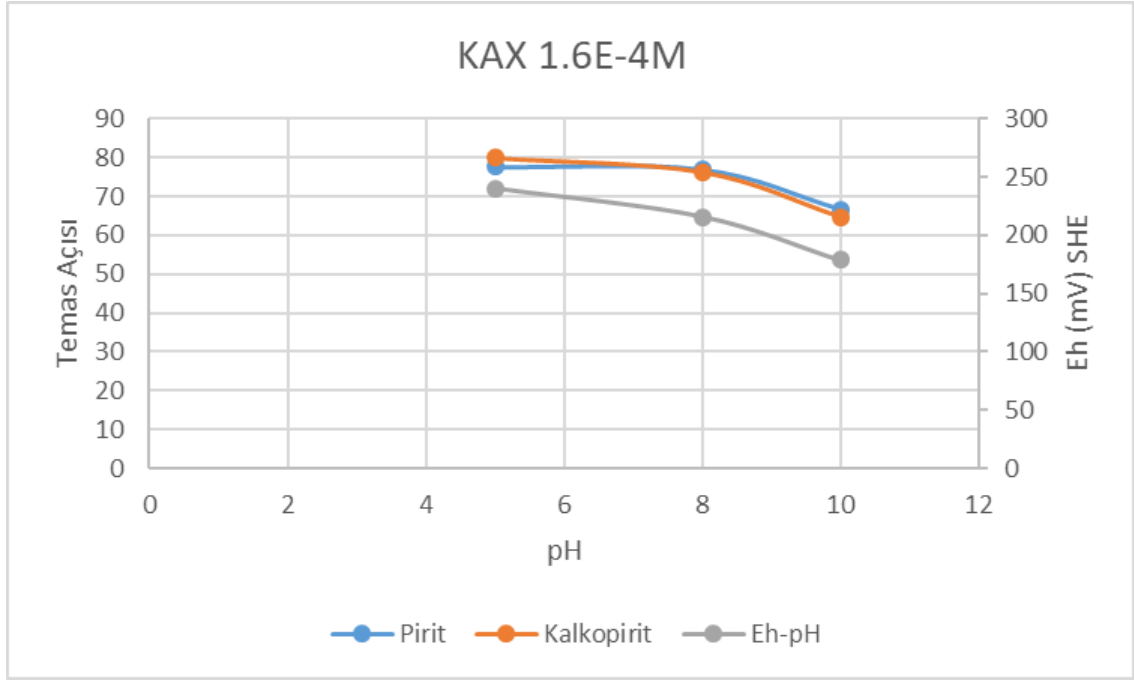
derişimine ait ve Şekil 4.12’ de ise $1,6 \times 10^{-4}$ M lık KAX derişimine ait temas açısı ve palp potansiyel değerlerinin değişimleri gösterilmektedir.



Şekil 4.10. Kalkopirit ve Pirit 4×10^{-5} M lık KAX derişiminde temas açısı ve palp potansiyeli değişimi



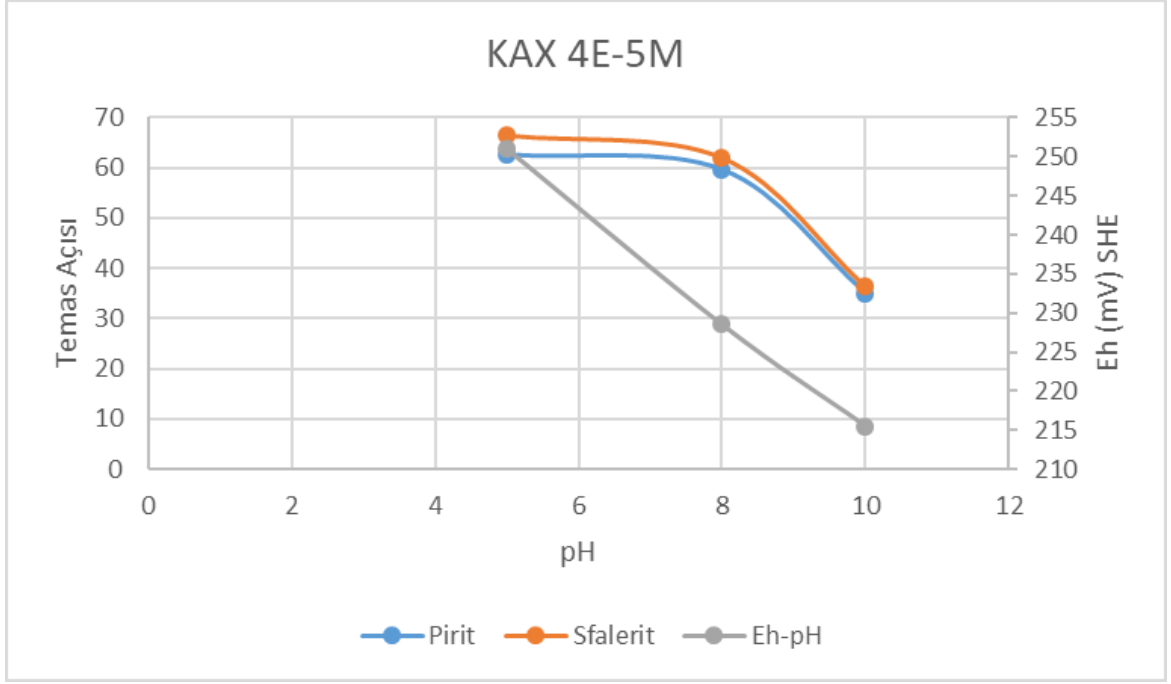
Şekil 4.11. Kalkopirit ve Pirit 8×10^{-5} M lık KAX derişiminde temas açısı ve palp potansiyeli değişimi



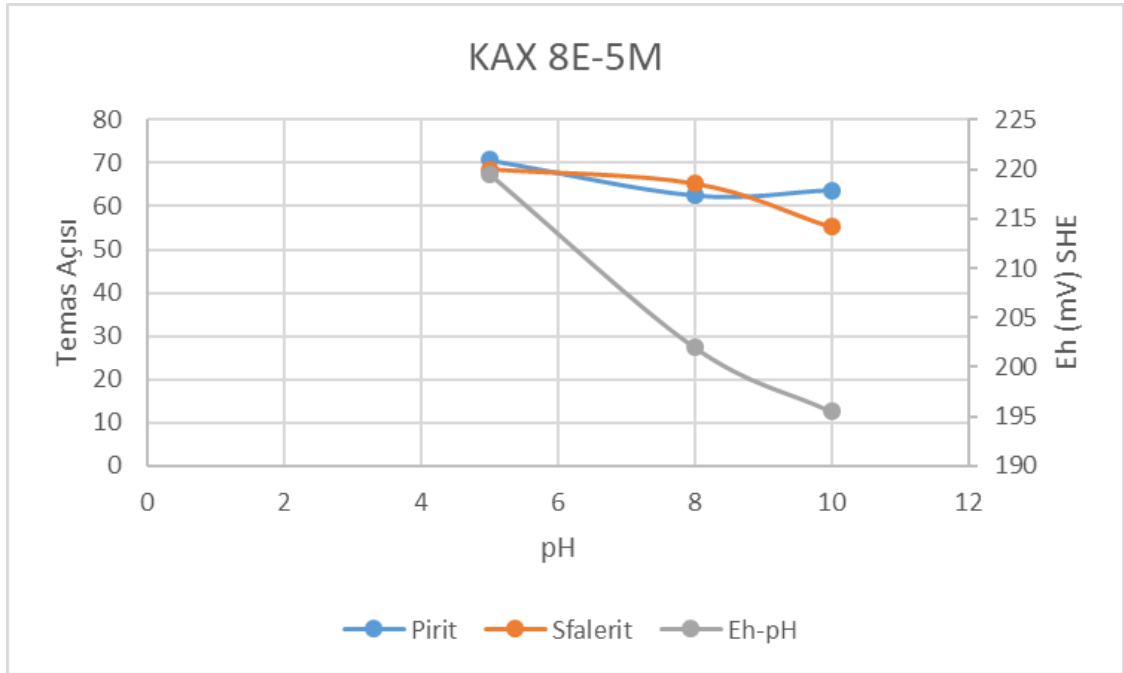
Şekil 4.12. Kalkopirit ve Pirit $1,6 \times 10^{-4}$ M lık KAX derişiminde temas açısı ve palp potansiyeli değişimi

4.4.2. Pirit-Sfalerit

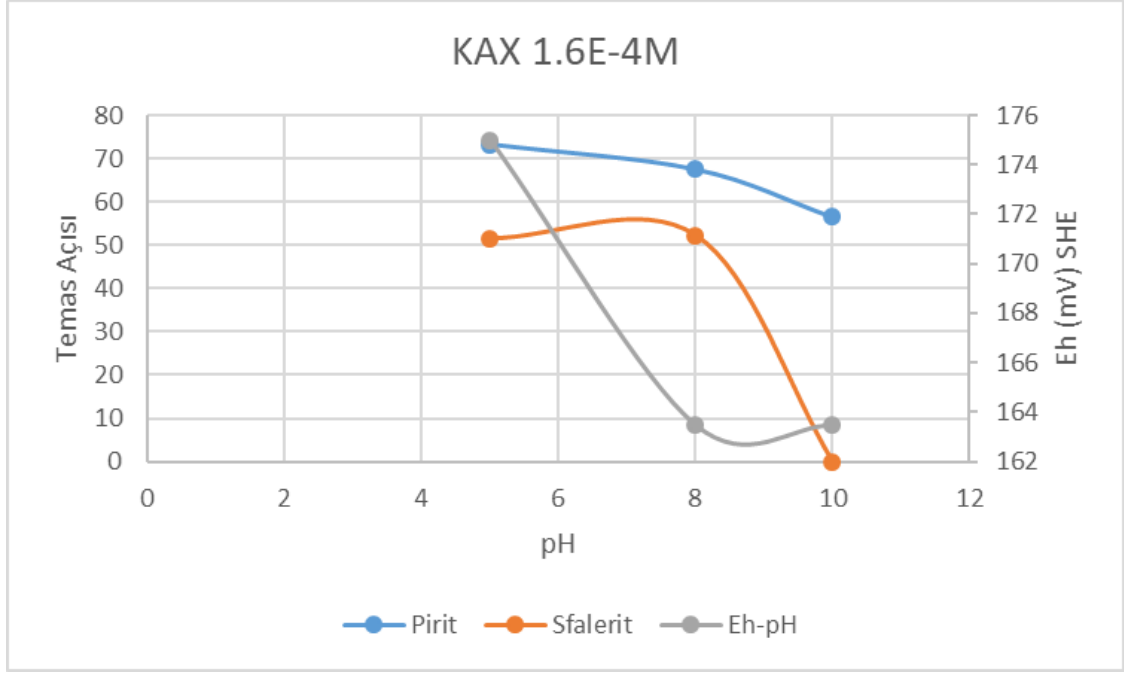
Pirit ve sfalerit yüzeylerinin temasından sonra galvanik etkileşimin temas açısına etkisi Şekil 4.13, 4.14 ve 4.15'te gösterilmektedir. Sfaleritin pirit ile 20 dakika boyunca koşullandırılmasından sonra temas açısı verdiği görülmüştür. Sfalerit, pH 5' te 4×10^{-5} M KAX derişiminde 66° lik bir temas açısı vermiştir. Fakat pH 10' da $1,6 \times 10^{-4}$ M KAX derişiminde temas açısı vermemiştir. Piritin sfalerit ile etkileşiminden sonra 4×10^{-5} M KAX derişiminde pH 5'te yaklaşık 63° temas açısı verirken $1,6 \times 10^{-4}$ M KAX derişiminde 73° ölçülmüştür. Palp potansiyelleri artan pH lara göre azalmıştır.



Şekil 4.13. Pirit ve Sfaleritin 4×10^{-5} M lık KAX derişiminde temas açısı ve palp potansiyeli değişimi



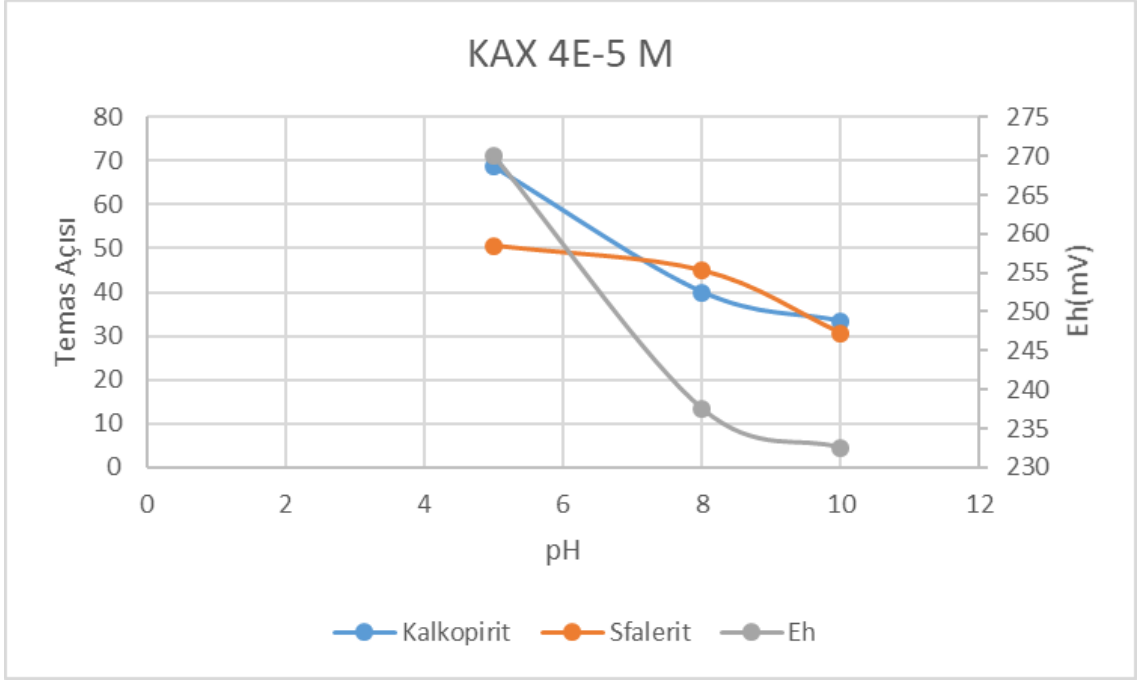
Şekil 4.14. Pirit ve Sfaleritin 8×10^{-5} M lık KAX derişiminde temas açısı ve palp potansiyeli değişimi



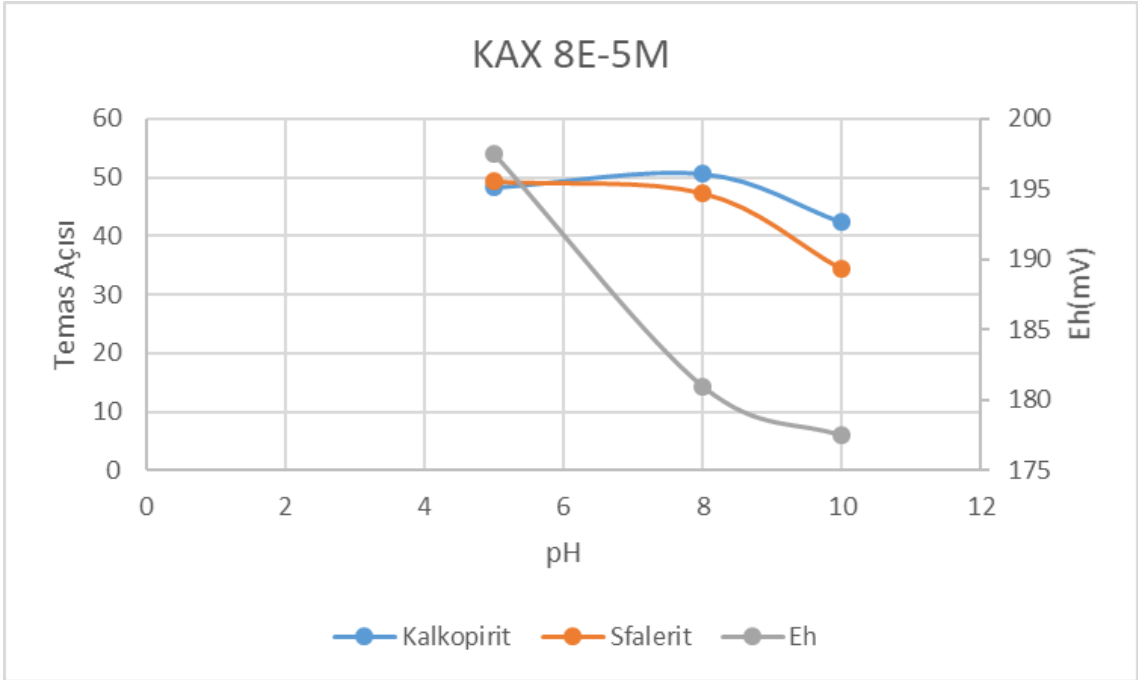
Şekil 4.15. Pirit ve Sfaleritin $1,6 \times 10^{-4}$ M lık KAX derişiminde temas açısı ve palp potansiyeli değişimi

4.4.3. Kalkopirit-Sfalerit

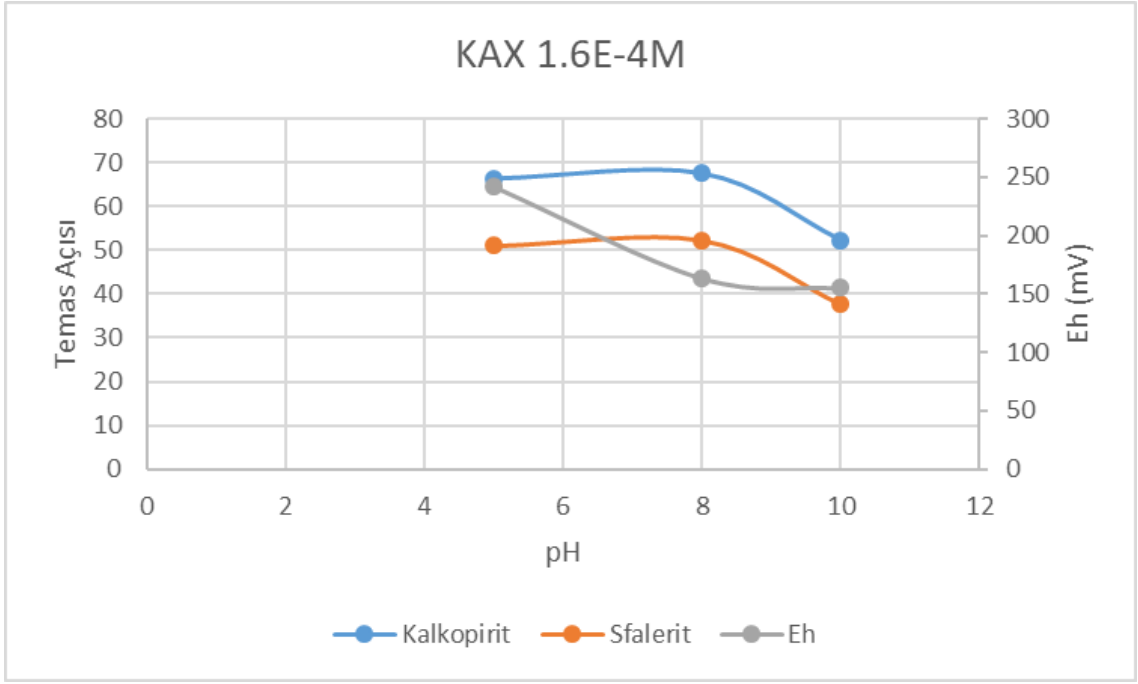
Bu deneyde de kalkopirit ve sfalerit yüzeylerinin temas etmesinden sonra minerallerin vermiş oldukları temas açıları değerleri Şekil 4.16, 4.17 ve 4.18' de gösterilmektedir. Sfaleritin en düşük temas açısı, pH 10' da 4×10^{-5} M KAX derişiminde yaklaşık 30° olarak ölçülmüştür. En yüksek temas açısı ise $1,6 \times 10^{-4}$ M derişiminin pH 5' teki durumunda 51° dir. Kalkopirit ölçümlerinde ise artan KAX derişimine ve palp potansiyeli değişimine göre temas açısı değerlerinin değişimi incelenmiştir. Palp potansiyelleri her ölçümde artan pH değerlerine göre azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.16. Kalkopirit ve Sfaleritin 4×10^{-5} M lık KAX derişiminde temas açısı ve palp potansiyeli değişimi



Şekil 4.17. Kalkopirit ve Sfaleritin 8×10^{-5} M lık KAX derişiminde temas açısı ve palp potansiyeli değişimi



Şekil 4.18. Kalkopirit ve Sfaleritin $1,6 \times 10^{-4}$ M lık KAX derişiminde temas açısı ve palp potansiyeli değişimi

5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1. Saf suda yapılan deneyler

Saf suda ölçülen deneyler Şekil 4.1 ve 4.2' de gösterilmiştir. Şekillerden de görüleceği üzere toplayıcı olmadığı durumda artan pH ile temas açısı hızla düşmektedir. pH 5 ve 8'de sfalerit hariç tüm örneklerin temas açısı verdiği görülmektedir. Sfalerit CuSO₄ ile aktifleştirilmediğinden temas açısı vermemiştir.

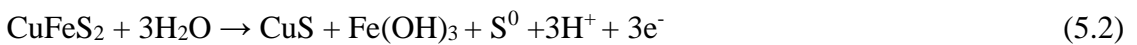
Yapılan araştırmalara göre toplayıcısız olarak yapılan deneylerde piritte bulunan demir, asidik çözeltide yükseltgenerek çözeltiye demir iyonları olarak geçme eğilimlerinin artış gösterdiği ve pirit yüzeyinin böylelikle daha hidrofobik özellik gösterdiği belirtilmiştir. Literatürde piritin yüzeyinde elemental sülfür oluştuğu ve piritin yüzeyinde oluşan demir hidroksit tabakasının çözeltiye karışmasıyla piritin yüzeyinin hidrofobik elemental sülfür tabakasıyla kaplandığı yönünde bulgular mevcuttur [54]. Şekil 4.1.'de incelenen piritin saf suda ve pH 5' te 61° lik temas açısı vermesi yukarıda bahsedilen koşulu açıklamaktadır.

Şekil 4.2.' de görüldüğü üzere kalkopirit toplayıcısız olarak pH 5, 8 ve 10' da temas açısı vermektedir. Araştırmalara, kalkopiritin pH 9'da toplayıcısız olarak yüzebildiğini göstermektedir [60]. Termodinamik verilere göre kalkopiritin doğal flotasyonunda bir ilişki bulamamışlardır [61]. Bazı araştırmacılara göre kalkopiritin toplayıcısız flotasyonunda elemental sülfür oluşumuna gerek olmadığı sonucuna varılmıştır. Öte yandan bazı araştırmacılara göre ise kalkopiritin toplayıcısız flotasyonu için çok fazla kanıt bulunmamasına rağmen kalkopirit yüzeyinde oluşan elemental sülfürün kalkopiritin toplayıcısız yüzebilirliğinin en basit mekanizması olabileceğini belirtmişlerdir [54].

Tepkime 5.1'e göre kalkopiritin asidik çözeltideki yükseltgenme reaksiyonu [62];



Nötr ve bazik çözeltideki reaksiyonu (tepkime 5.2)



CuS in yükseltgenmesinin pH' a ve potansiyele bağlı olduğu belirtilmiştir (tepkime 5.3)



Kalkopiritin ve Piritin Eh-pH diyagramına bakıldığında (Şekil 4.1 ve 4.2) pH 5'te ve yaklaşık 450-500 mV potansiyelde pirit ve kalkopirit yüzeyinde sülfat ve diğer bileşiklerin oluşumu sonucuna varılabilir. Ancak pirit yüzeyinde sülfat ve diğer bileşiklerin oluşmadığı veya çok az bir miktar oluştuğu; hidrofobikliğin yüzeyde bulunan elemental kükürtle ilişkilendirilmiştir [3].

Bütün örneklerin pH 5'te daha yüksek temas açısı vermesinin nedeninin kalkopirit ve pirit yüzeyinde oluşan elemental sülfürün ve metalce eksik sülfür tabakasının neden olduğu söylenebilir [3, 54].

Bazik çözeltilerde piritin bastırılmasının demir iyonlarının demir hidroksit iyonlarına hidrolizi ve ardından gerçekleşen yükseltgenme reaksiyonu ile ilişkilendirmişlerdir (Tepkime 5.4-5.5) [53, 63].



5.2. Toplayıcı Kullanılarak Yapılan Deneyler

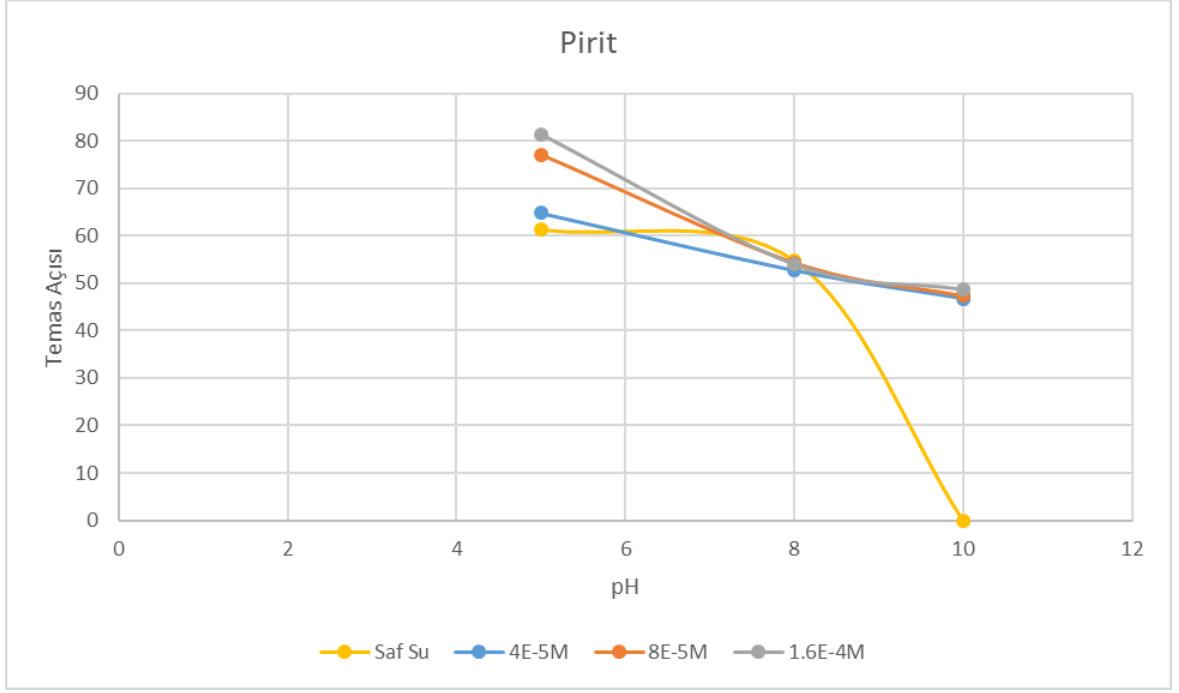
Toplayıcı olarak Potasyum Amil Ksantat (KAX) kullanılarak yapılan deneylerde elde edilen temas açısı ve palp potansiyeli sonuçları Şekil 5.3-5.6 arasındaki grafiklerde gösterilmiştir. Şekiller incelendiğinde örneklerin çalışılan tüm KAX derişimlerinde ve bütün pH'larda temas açısının ölçüldüğü görülmektedir. Piritin temas açısı değerleri, KAX derişimleri ile beraber artmış olup kalkopirit için ise aynı durum söz konusu olmamıştır. Pirit, pH 5'te $1,6 \times 10^{-4}$ M lık KAX çözeltisi derişimde 81° lik temas açısı değeri ölçülürken; kalkopirit en yüksek temas açısı değeri olan 68° 4×10^{-5} M da vermiştir. Nitekim ortama KAX eklenmesi ile saf suya göre çok daha yüksek temas açıları elde edilmiştir. Toplayıcı eklenmesinin temas açısında oldukça önemli bir faktör olduğu, fakat derişimi artırmanın aynı etkiye sahip olmadığı görülmüştür. Giderek artırılan pH ile temas açısının azaldığı görülmektedir. Kalkopirit ve pirit temas açılarında pH 5'te ve pH 10'te

da ölçülen en yüksek ve en düşük temas açıları arasında 25-30°'lik farklar elde edilmiştir. Artan pH ile temas açılarının azalmasına rağmen, saf su ölçümleri ile karşılaştırıldığında pH'nın KAX varlığında temas açısı değerini ölçerken önemini yitirdiği ve yüksek pH'larda bile piriti bastırmanın mümkün olmadığı ortaya çıkmaktadır [3].

Toplayıcısız olarak yapılan koşullarda pH 8-10'dan sonra genellikle temas açısı değerlerinde azalmalar gözlemlenirken 4×10^{-5} M ve 8×10^{-5} M KAX derişimlerinde kalkopirit ve pirit temas açılarında artışlar görülmüştür. Önceki çalışmalara göre en düşük KAX derişiminde (4×10^{-5} M) dahi pirit yüzeyinin yeterince diksantojen iyonlarıyla kaplanarak hidrofob olduğu ve KAX derişimini fazla miktara getirilmesinin temas açısı değişimi üzerinde çok etken olmadığı ortaya çıkmaktadır [3]. Palp potansiyel değerlerinin artan KAX derişimi ve aynı zamanda artan alkali seviyesi nedeniyle azaldığı görülmektedir. Ortamın baziklik derecesinin artırılmasına rağmen piritin bastırılmamasının nedeni ise toplayıcıdan kaynaklanan diksantojenin piritin yüzeyini kaplayarak hidrofobik hale getirmesidir.

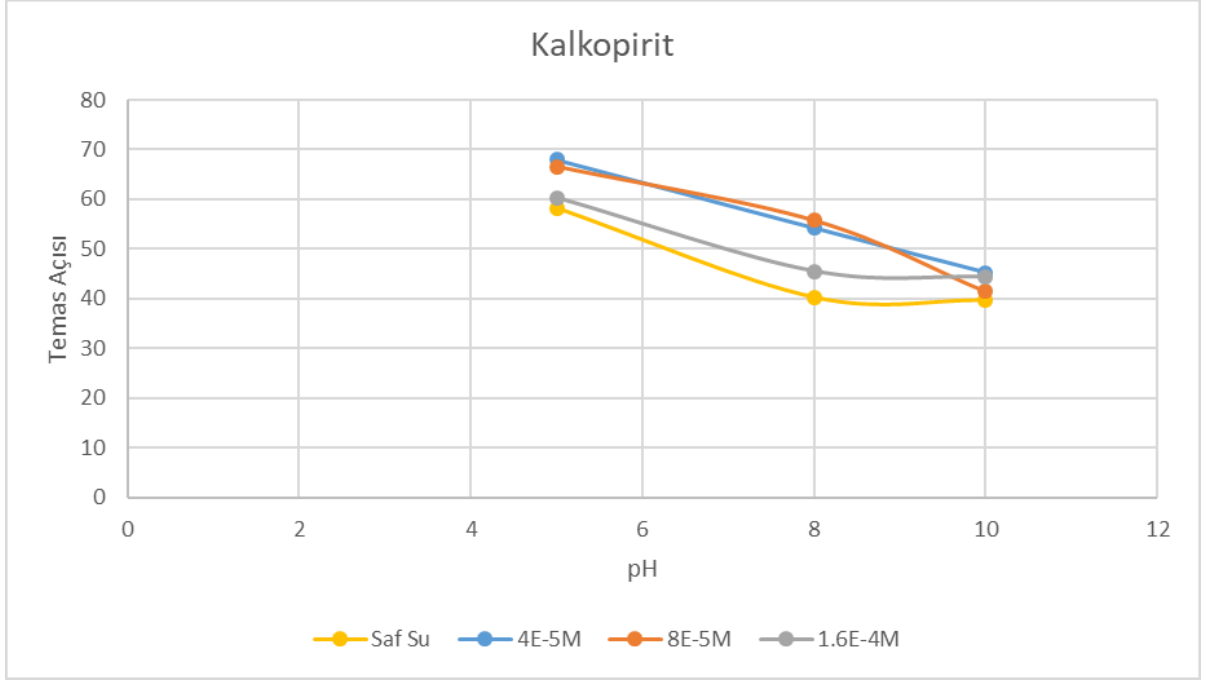
Aynı pH'larda, artan toplayıcı derişimiyle palp potansiyellerinde artış ve azalmalar görülmektedir. Oksijenin indirgenmesi nedeniyle oksijen derişimindeki azalmanın yanısıra ksantat iyonlarının elektrot yüzeyine yapışması yüzünden elektrot ölçüm yüzeyinin kirlenmesinin palp potansiyelindeki bu değişime neden olduğu düşünülmektedir.

Sfalerit bu deneyde CuSO_4 aktifleştirilmediğinden temas açısı ve palp potansiyel değerleri ölçülmemiş; kalkopirit ve piritin toplayıcı kullanılarak yapılan deneylere göre sonuçları incelenmiştir.



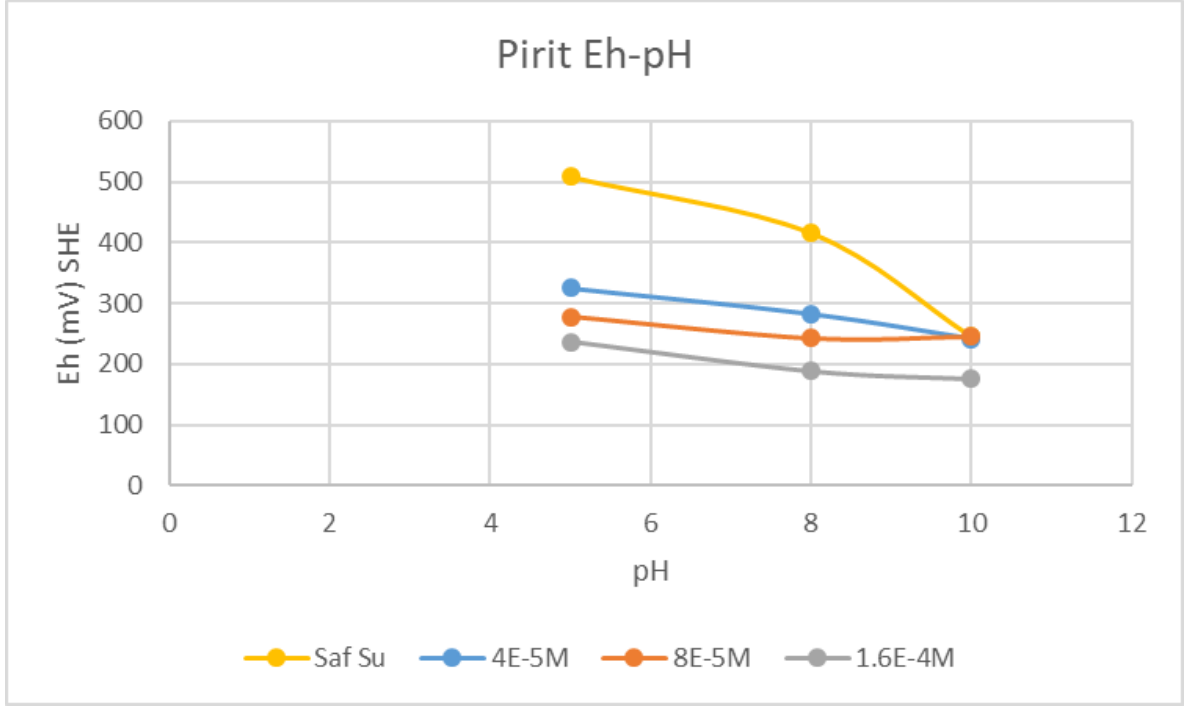
Şekil 5.1. Piritin değişik KAX derişimlerinde ve pH'larda ölçülen temas açıları

Şekil 5.1.' de görüldüğü gibi piritin saf suda ve farklı toplayıcı derişimlerinde vermiş olduğu temas açıları artan toplayıcı derişimleriyle doğru orantılı olarak artmaktadır. Saf suda yüksek pH' da temas açısı vermezken toplayıcı kullanılarak yapılan deneylerde yüzeyin diksantojen kaplanarak hidrofobik olması nedeniyle temas açısı artmıştır.



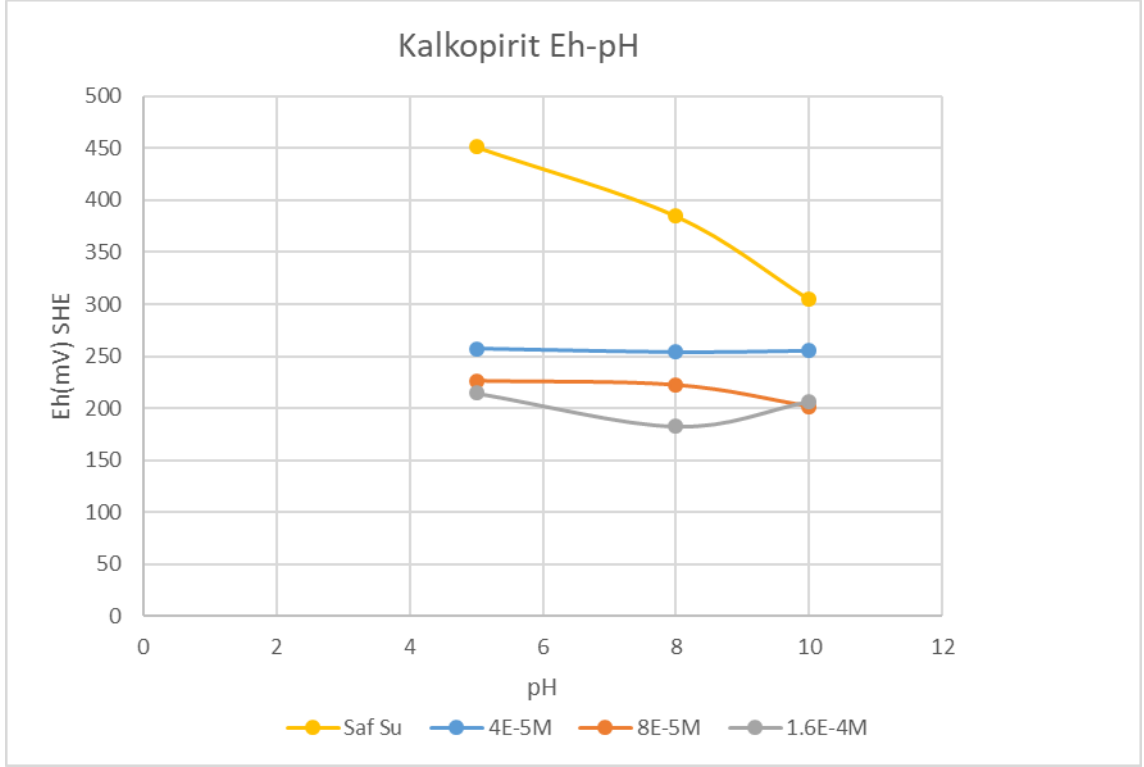
Şekil 5.2. Kalkopiritin değişik KAX derişimlerinde ve pH'larda ölçülen temas açıları

Şekil 5.2.' de görüldüğü üzere kalkopiritin saf suda ve farklı toplayıcı derişimleriyle temas açısını ölçmek için yapılan deneylerde piritten bağımsız olarak temas açısı değerleriyle artan KAX derişimi arasında bir orantı bulunamamıştır. Kalkopirit toplayıcısız durumlarda yüzebilen bir mineral olduğu için toplayıcı eklenen durumlarda söz konusu olduğun temas açısı değerlerinde doğrusal artış oranı yakalanmamıştır.



Şekil 5.3. Piritin pH'a göre palp potansiyelleri

Şekil 5.3.' te ise piritin palp potansiyel değerlerinin saf suda ve farklı KAX derişimlerinde pH' a göre nasıl deęiştđđ gösterilmiştir. Artan pH ile çözeltinin alkali durumu artırıldığında palp potansiyelinin de azaldđđđ görölmektedir.

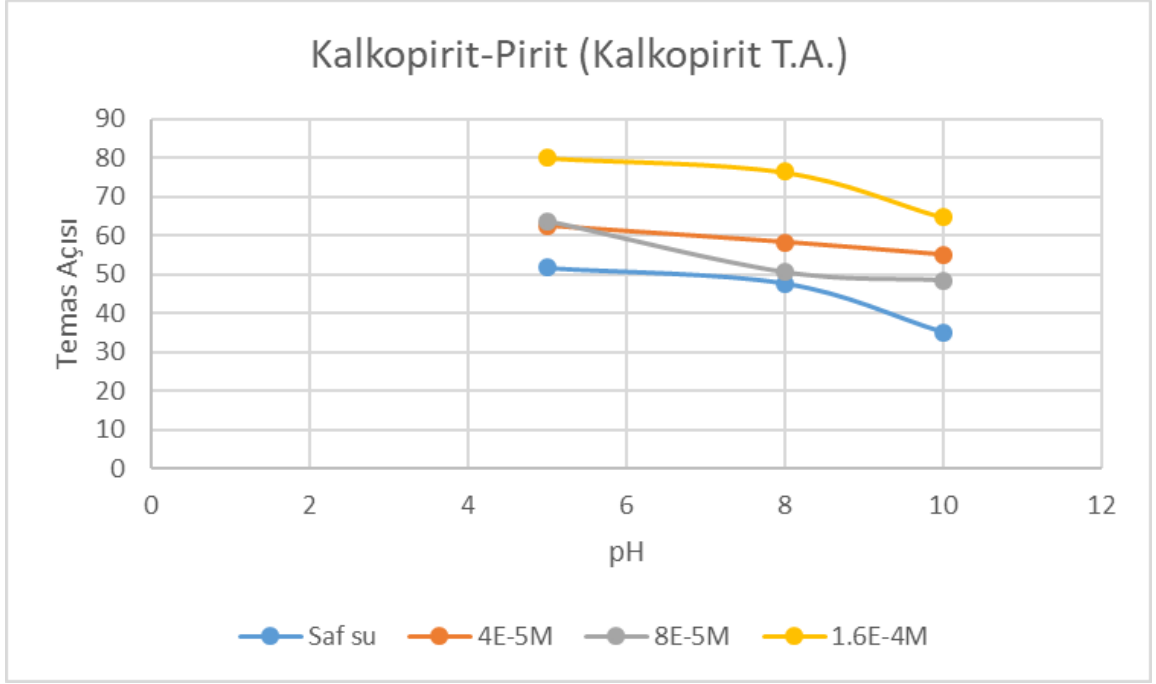


Şekil 5.4. Kalkopiritin pH' a göre palıp potansiyelleri

Şekil 5.4.' te ise kalkopiritin palıp potansiyel değeri saf suda ve farklı KAX derişimlerinde pH' a göre nasıl değıştiği gösterilmiştir. Artan KAX ile çözeltinin palıp potansiyel değeri de düştüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca saf suda ani azalmalar gözlemlenirken toplayıcı durumunda değeri değışiminin daha durağanlaştığı görülmüştür.

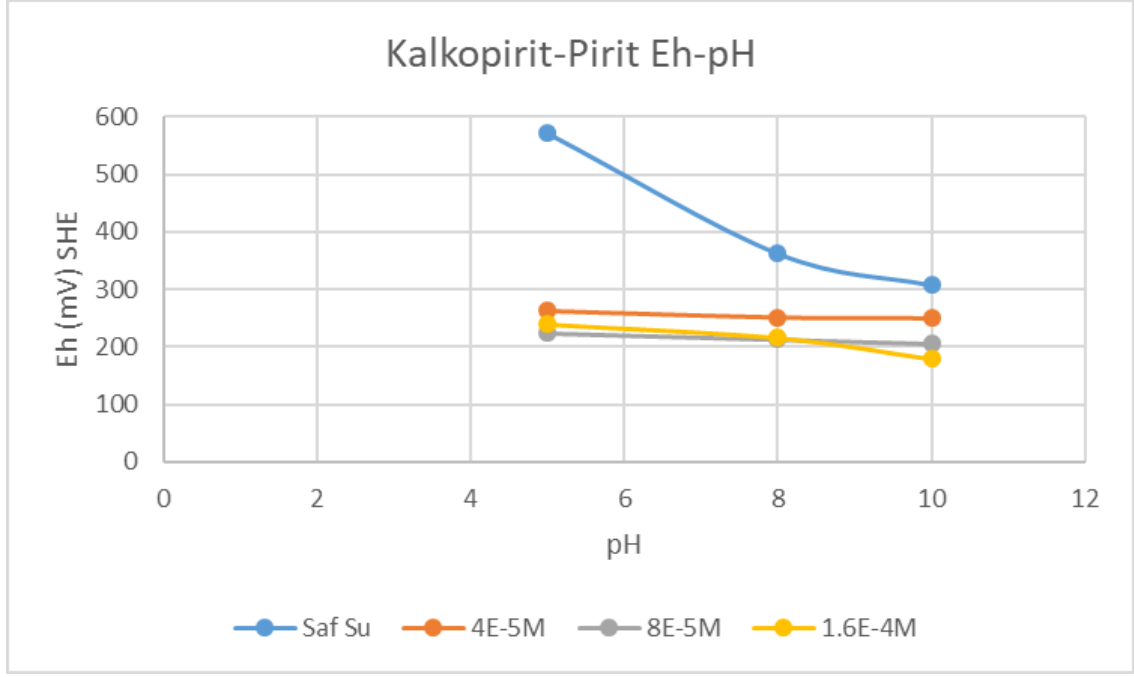
5.3. Galvanik Etkileşimi Ölçmek İçin Yapılan Deneyler

Kalkopirit-pirit, pirit-sfalerit ve kalkopirit-sfaleritin birbirleriyle galvanik etkileşimini incelemek amacıyla yapılan deneylere ait sonuçlar Şekil 5.5-5.13 arasındaki grafiklerde gösterilmektedir. Galvanik etkileşimin temas açısına etkisini tam anlamıyla incelemek için saf suda ve farklı KAX derişimlerinde mineralin tek başına verdiği temas açısı değeri ve galvanik etkileşiminden sonra ölçülen değeri incelenmiştir.



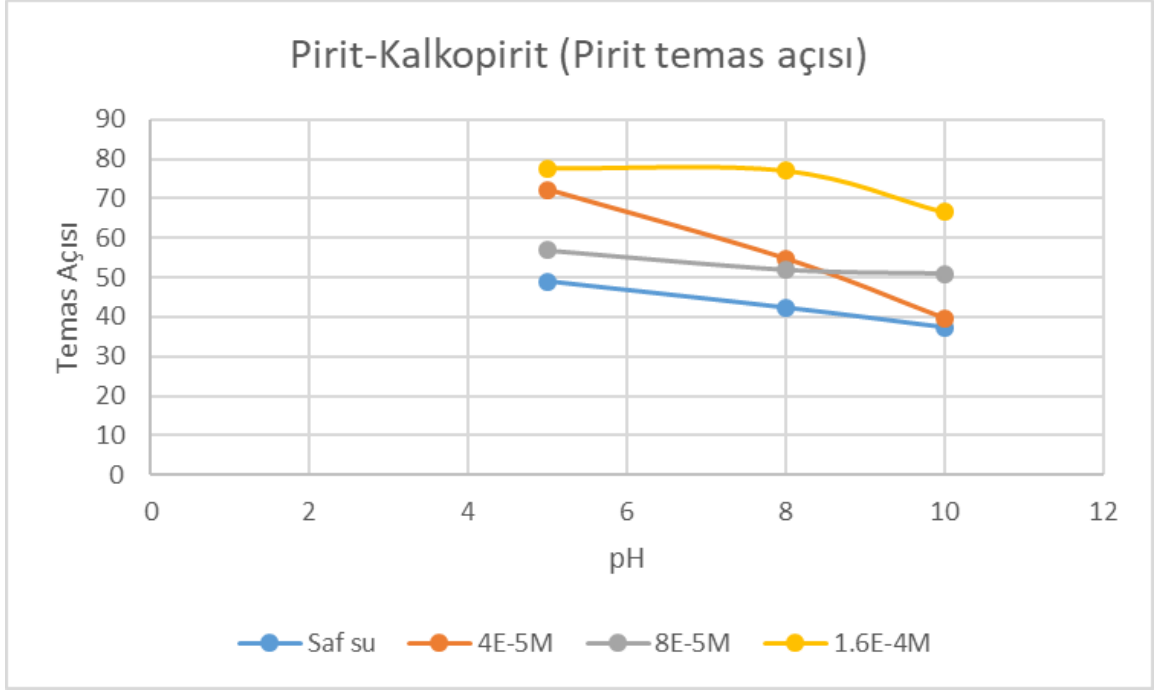
Şekil 5.5. Kalkopiritin, Pirit ile galvanik etkileşiminden sonra verdiği temas açısı değerleri

Şekil 5.5.' te kalkopiritin, pirit ile etkileşiminden sonraki temas açısı değerleri gösterilmektedir. Kalkopirit ve pirit galvanik etkileşiminden sonra kalkopiritin en yüksek toplayıcı derişimi olan 1.6×10^{-4} M lık KAX derişimde pH 5' te yüksek temas açısı değeri ölçülmüştür. Ayrıca kalkopirit tek başına yapılan ölçümlere göre burada artan pH 'a rağmen daha yüksek temas açısı değerleri ölçülmüştür. Bu durumun piritten gelen demir hidroksit tabakasının kalkopirit yüzeyini kaplayarak hidrofobikliğı artırmış olabilir. Ayrıca çözeltiliye eklenen toplayıcının da yüzeyi hidrofobik yaptığı düşünülebilir.



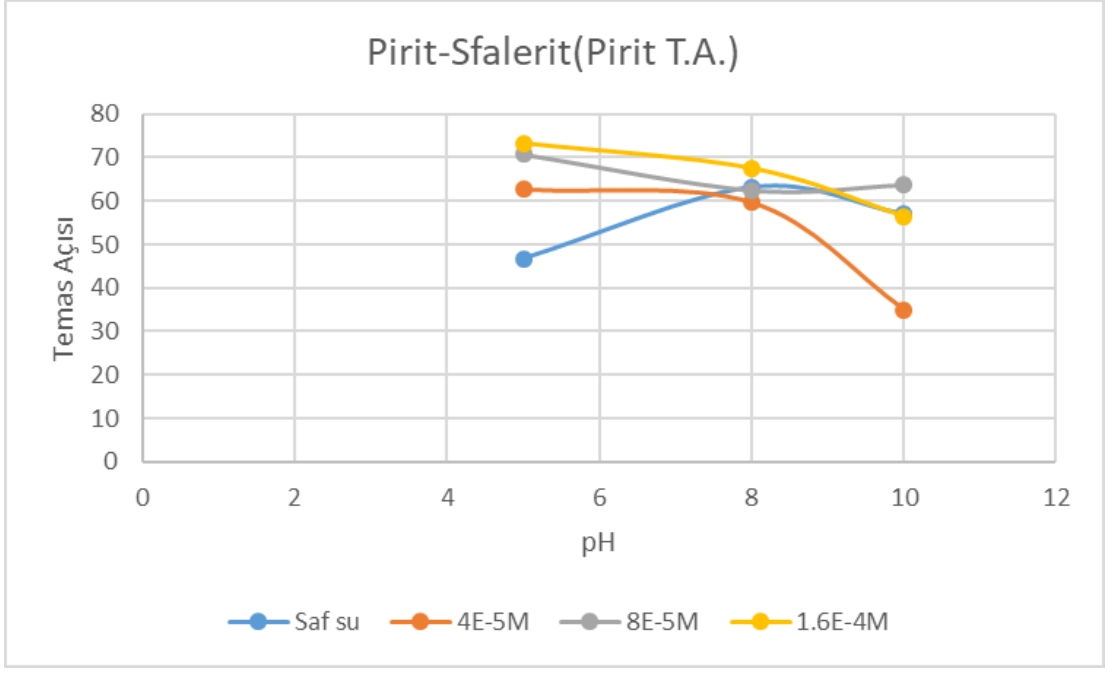
Şekil 5.6. Kalkopirit-Pirit galvanik çiftinin palp potansiyel değerleri

Şekil 5.6.' da kalkopirit-pirit galvanik etkileşiminin palp potansiyeline etkisi gösterilmektedir. Saf suda artan pH ile beraber hızla azalan palp potansiyel değeri eklenen toplayıcı ile beraber daha çok azalmış pH 5' te en yüksek KAX derişiminde 240 mV(SHE) olarak ölçülmüş; en düşük palp potansiyel değeri pH 10' da 179 mV(SHE) olarak kaydedilmiştir. Galvanik etkileşimle beraber palp potansiyel değerleri azalmıştır.



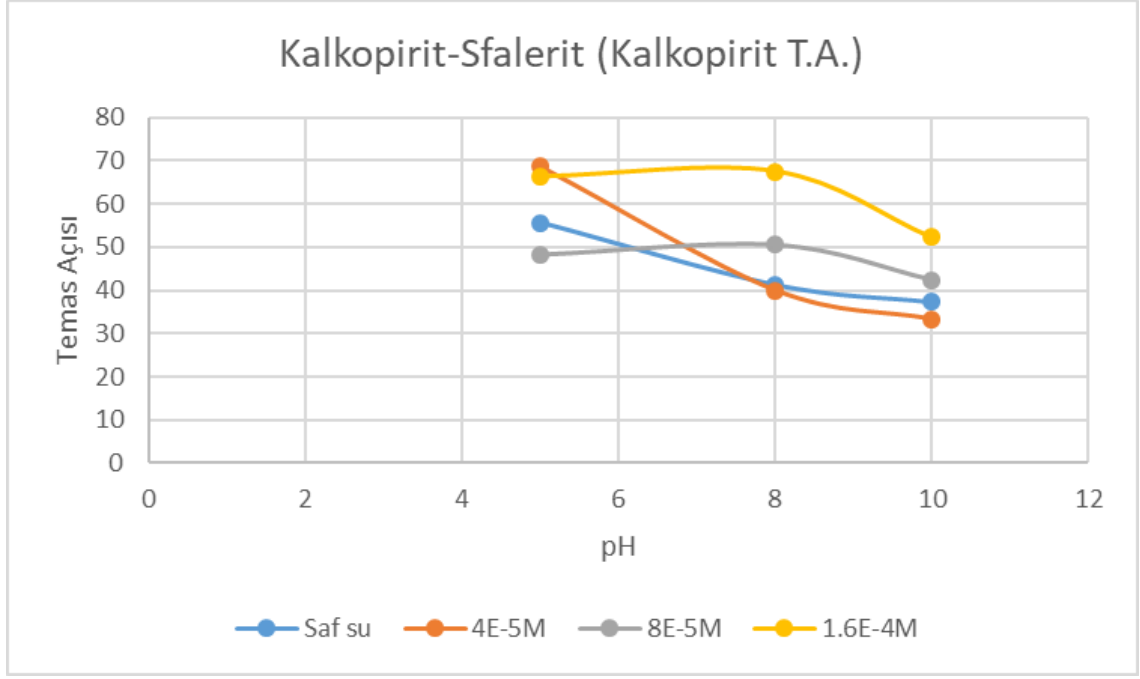
Şekil 5.7. Piritin, kalkopirit ile galvanik etkileşiminden sonra ölçülmüş temas açısı değerleri

Şekil 5.7.' de gösterildiği üzere piritin kalkopirit ile galvanik etkileşiminden sonra saf suda ve toplayıcı kullanılarak yapılan temas açısı ölçüm değerleri yer almaktadır. Grafiğe göre piritin saf su ölçümlerine göre toplayıcı kullanılan deneylerde temas açısı değerlerinin arttığı görülmektedir. Fakat temas değerleri artan toplayıcı derişimiyle doğrusal olarak artmadığı görülmektedir.



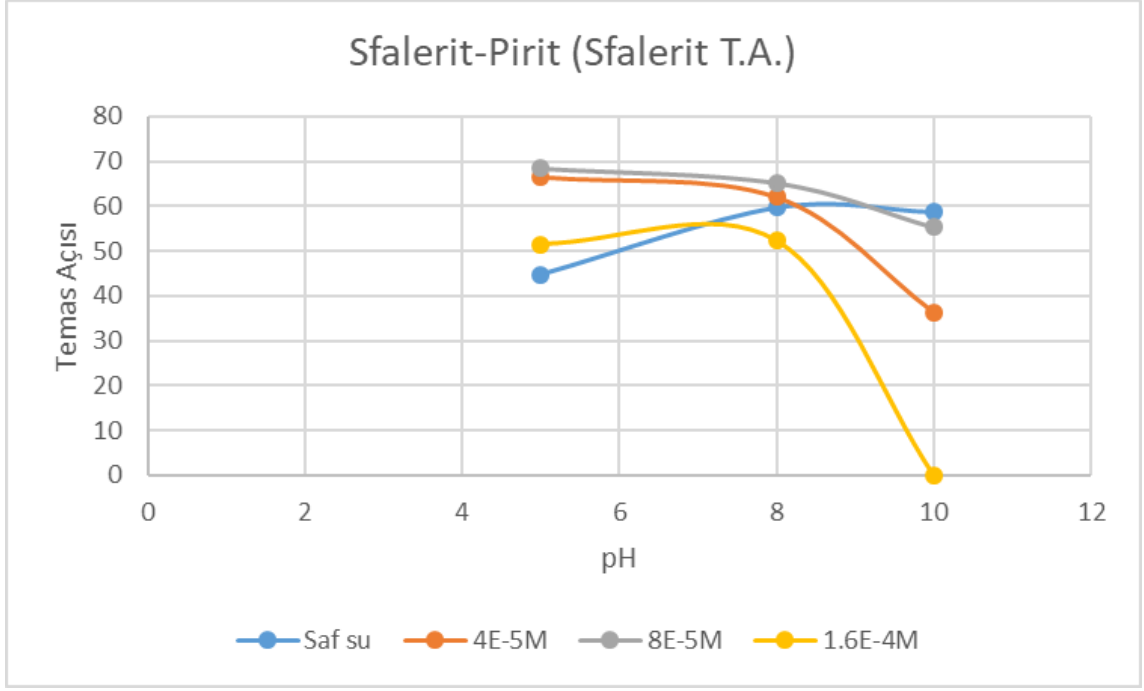
Şekil 5.8. Piritin sfalerit ile galvanik etkileşiminden sonra temas açısı değerleri

Şekil 5.8.' de piritin sfalerit ile galvanik etkileşiminin temas açısına etkileri gösterilmiştir. Pirit, sfalerit ile temas ettikten sonra saf suda toplayıcı kullanımına nazaran daha düşük temas açısı değeri verildiği görülmektedir. Toplayıcı kullanılan durumda artan pH ile beraber temas açısı değerlerinin azaldığı gözlemlenirken saf suda tam tersi durum söz konusudur.



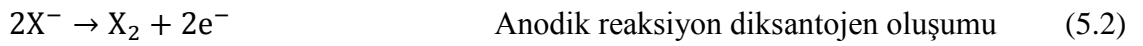
Şekil 5.9. Kalkopiritin, sfalerit ile galvanik etkileşiminden sonra temas açısı değerleri

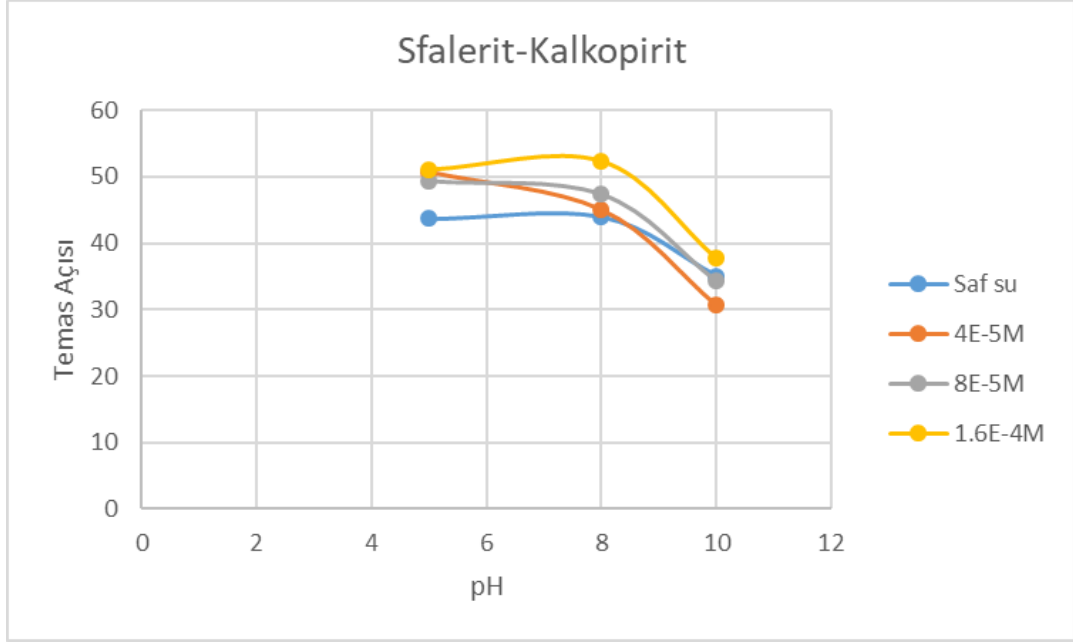
Şekil 5.9.' da görüldüğü üzere kalkopirit sfalerit ile olan temasından sonra artan pH ile temas açısı değerleri azalmıştır. Ayrıca incelendiğinde kalkopirit sfaleritle olan galvanik etkileşiminde tek başına yapılan ölçümlerde daha yüksek temas açıları elde edilmiştir. Bununla beraber grafikten de anlaşılacağı gibi 4×10^{-5} M KAX derişiminde ve saf suda artan pH ile beraber temas açısı değerleri azalmış fakat diğer KAX derişimlerinde pH 8' de temas açısı değerlerinde artışlar gözlemlenmiştir.



Şekil 5.10. Sfaleritin saf suda ve farklı toplayıcı derişimlerinde pirit ile galvanik etkileşiminden sonra temas açısı değişiminin gösterimi

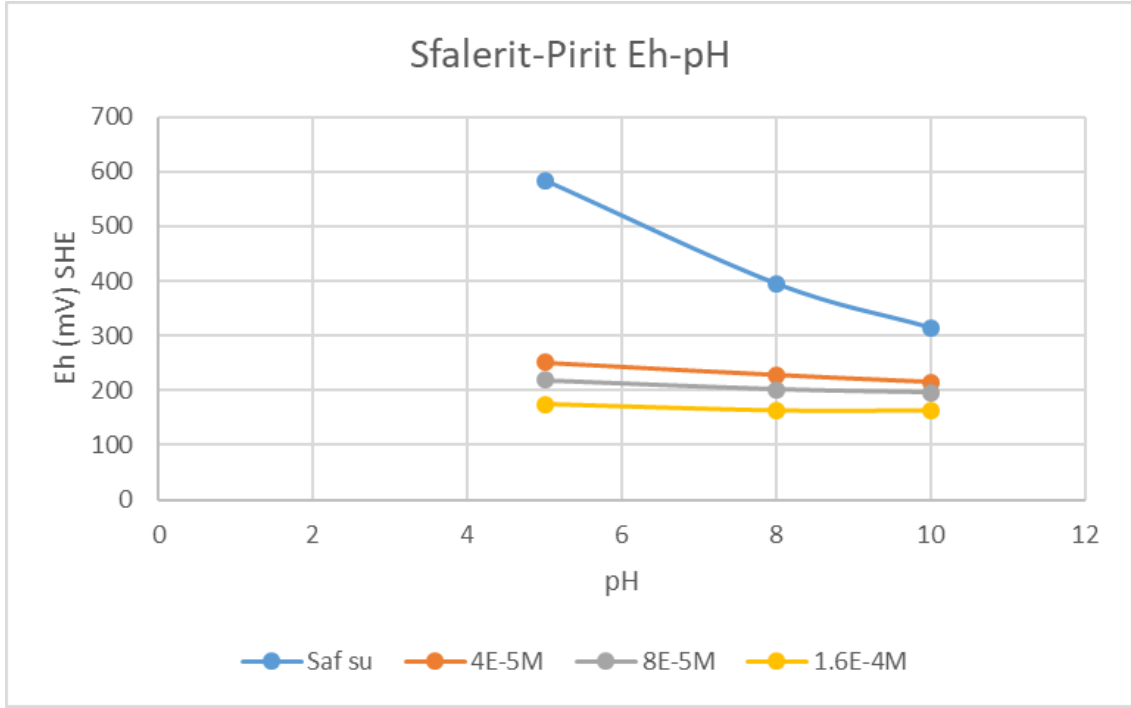
Şekil 5.10.' da görüldüğü üzere sfalerit pirit ile galvanik etkileşiminde saf suda ve bazı toplayıcı derişimlerinde temas açısı verirken; pH 10 da $1,6 \times 10^{-4}$ M KAX derişiminde temas açısı vermemiştir. Bu durum, ortamın alkali seviyesinin yükselmesi ve artan toplayıcı derişiminin gaz yüzeyini kaplayarak yüzeyin hidrofobikliğini azaltmış olduğu düşünülmektedir [16]. Ayrıca sfaleritin pH 10' da temas açısı vermemesinin bir başka nedeni diksantojenin çözünürlüğünün azalmasından kaynaklanıyor olabilir. Tepkime 5.1 5.2 ve 5.3' te ksantat ve diksantojen oluşum tepkimeleri verilmiştir.



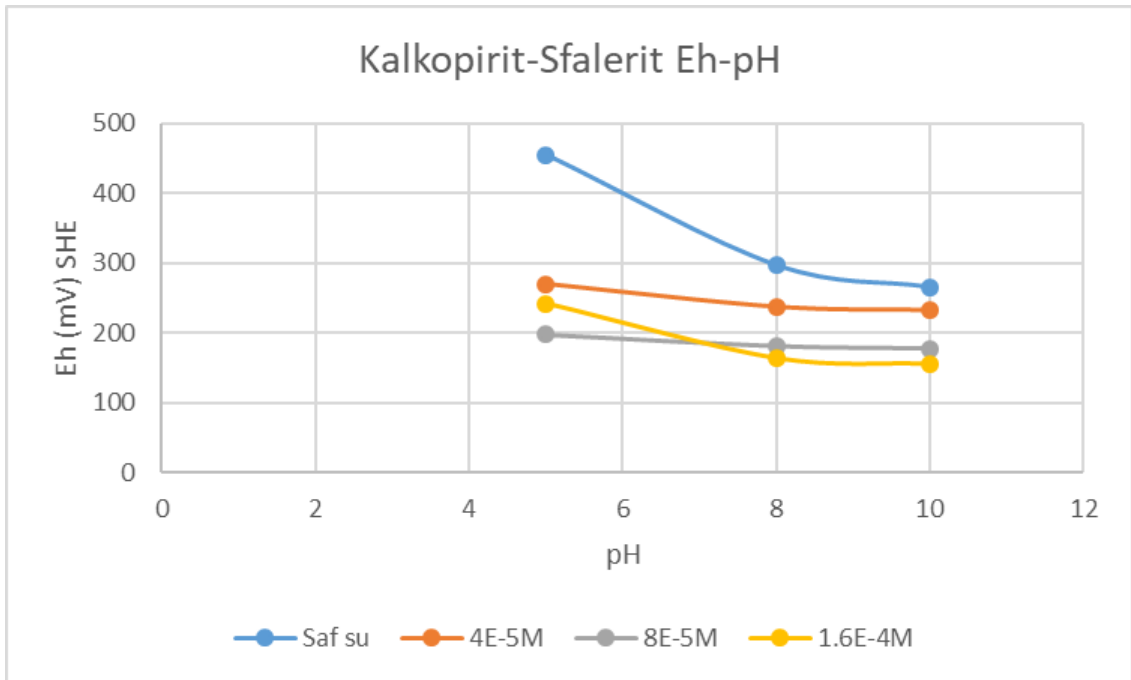


Şekil 5.11. Sfaleritin, kalkopirit ile galvanik etkileşiminin saf suda ve farklı toplayıcı derişimlerinin temas açısına etkisi

Şekil 5.11.' de sfaleritin kalkopirit ile galvanik etkileşiminden sonra temas açısı değerleri gösterilmektedir. Burada sfalerit tek başına yapılan ölçümlerde temas açısı değeri vermezken galvanik etkileşimden sonra her durumda temas açısı değeri ölçülmüştür. Artan KAX derişimi ile beraber temas açısı değerleri arasında yaklaşık 1-2° farklar gözlemlenmiştir. Ortamın pH seviyesi artınca diğer deneylerde olduğu gibi burada da azalış yakalanmıştır.



Şekil 5.12. Sfalerit-Pirit galvanik çiftinin palp potansiyel değerleri

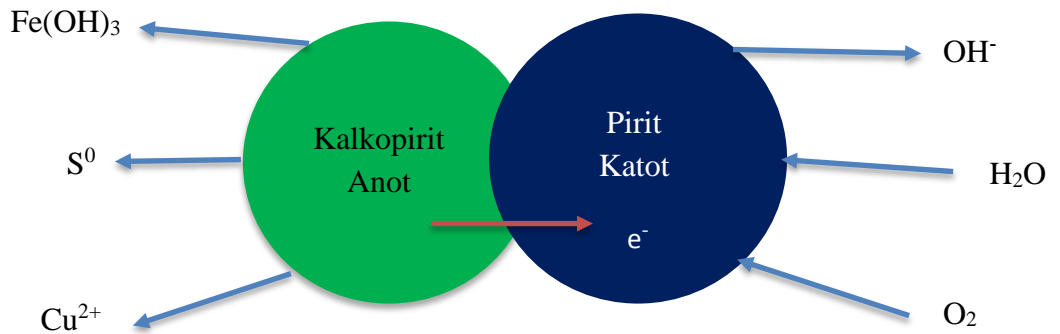


Şekil 5.13. Kalkopirit ve sfaleritin galvanik etkileşimden sonra ölçülen palp potansiyel değerleri

Şekil 5.12 ve 5.13' te sfalerit-pirit ve sfalerit-kalkopirit galvanik çiftlerinin palp potansiyel eğrileri gösterilmiştir. Şekil 5.12 ele alınacak olursa saf suda asidik ortamda palp potansiyel değeri en yüksek değerine ulaşmış fakat diğer palp potansiyel grafiklerinde olduğu gibi artan pH ile ani düşüş görülmektedir. Bu durum Şekil 5.13. için de geçerlidir. Fakat kalkopirit-sfalerit (Şekil 5.13) galvanik etkileşiminde artan KAX derişimi ile beraber palp potansiyelinde orantılı azalış gözlemlenmemiştir.

Galvanik etkileşimin temas açısına etkisini incelemek amacıyla yapılan kalkopirit-pirit deneyinde kalkopirit ve piritin tek başına yapılan temas açısı ölçümlerine göre minerallerin temas açılarının ve dolayısıyla palp potansiyellerinde genellikle azalmalar gözlenmiştir. Bu değişim incelenecek olduğunda; saf suda pH 10' da pirit temas açısı vermezken kalkopirit-pirit temas etmesiyle pH 10' da yaklaşık 37° lik bir temas açısı ölçülmüştür.

Mineraller birbirleriyle etkileşim halinde olunca, farklı durum potansiyelleri yüzünden galvanik hücre oluşur. Galvanik hücrede redoks tepkimeleri meydana gelir. Durum potansiyeli yüksek olan mineral katot olarak davranırken, düşük olan mineral anot olarak davranır. Kalkopirit-Pirit etkileşiminde; kalkopirit pH 7' de durum potansiyeli 452 mV (SHE) ölçülürken; piritin durum potansiyeli pH 7' de yaklaşık 510 mV(SHE) ölçüldüğü için pirit soy mineral olarak (katot) indirgenme reaksiyonu göstermiş olup; kalkopirit bu durumda yükseltgenme reaksiyonu (anot) göstermiştir (Şekil 5.14.).



Şekil 5.14. Galvanik etkileşim modeli [54]

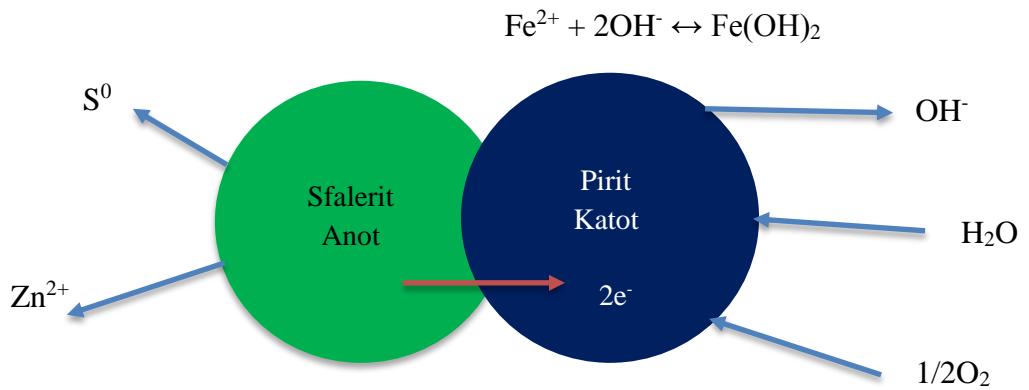
Mineraller yüzeyinde oluşan galvanik akımın yüzeyleri bozduğu düşünülmektedir. Bunun sebebinin, çözelti içinde bulunan çözünmüş oksijenin indirgenerek pirit üzerinde OH⁻ iyonları oluşturması gösterilebilir. Temas açısı değerlerinin değişmesinin bir diğer nedeni de kalkopiritin yükseltgenmesiyle oluşan Cu⁺² iyonlarının piritin indirgenmesiyle oluşan demir iyonlarıyla reaksiyona girerek CuS₂ oluşturduğu anlaşılmaktadır (Tepkime 5.6) [54].



Kalkopirit-Pirit çiftinde minerallerin temas açılarının değişmesini, CuFeS₂ yüzeyinde oluşan elemental sülfürün neden olduğu düşünülmektedir [3, 54].

Toplayıcı derişiminin (4×10^{-5} M, 8×10^{-5} ve $1,6 \times 10^{-4}$ M) galvanik etkileşimine nasıl etkilediğini incelemek için yapılan deneylerde kalkopirit-pirit mineralleri saf suya göre daha yüksek temas açısı vermiş olduğu gözlemlenmiştir.

Kalkopirit-Sfalerit ve Pirit-Sfalerit galvanik etkileşimleri göz önüne alındığında tek başına sfalerit, CuSO₄ ile aktifleştirilmediğinden saf suda ve toplayıcı eklendiği halde temas açısı vermemiştir. Fakat diğer minerallerle galvanik etkileşim durumu söz konusu olduğunda sfaleritin temas açısı verdiği görülmüştür. Pirit-Sfaleritin galvanik etkileşimi Şekil 5.22' de gösterilmiştir.



Şekil 5.15. Pirit-Sfalerit galvanik etkileşim modeli [58]

Pirit-Sfalerit galvanik çiftinde sfalerit düşük elektrokimyasal potansiyele sahip olduğu için anodik davranış göstererek Zn^{2+} iyonları oluşmuştur. Ayrıca tüm galvanik çiftlerde olduğu gibi pirit-sfalerit galvanik etkileşiminde de palp potansiyel düşüşü gözlemlenmiştir. Bu durum mineral arası elektron transferi nedeniyle oluşmuş olduğu söylenebilir [58].

Kalkopirit-Sfalerit ve Pirit-Sfalerit galvanik çiftlerinde farklı toplayıcı derişimleriyle yapılan deneylerde sfaleritin temas açısı verdiği durumlar her iki koşulda da görülmüştür.

Ksantat ile galvanik çiftin etkileşimi daha soy olan mineralin (pirit) diksantojen oluşturarak daha aktif (sfalerit) olan mineralin ise metal-ksantat çiftini oluşturarak; metal-ksantat ile diksantojen arasında elektron transferi ile açıklanabilir [58].

Tüm galvanik çiftler değerlendirilecek olursa, pirit oksijenin indirgenmesi ve OH^- iyonlarının oluşumu için bir elektrokatalizördür ve oksijenin indirgenmesi için diğer minerallere göre daha aktiftir. Pirit yüzeyinde demir hidroksit oluşması kadar oksijenin indirgenmesi de yüzeyi daha hidrofilik yapar [64].

Galvanik etkileşimin flotasyonda göz önüne alınması gereken önemli bir husustur.

6.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Minerallerin tek başına yapılan temas açısı ölçümlerinde;

- Pirit ve kalkopiritin pH' a bağlı olarak temas açısı değerlerinin azaldığı görülmüştür. Özellikle saf suda, alkali hale getirilen çözeltide pirit temas açısı vermemiştir.
- Toplayıcı eklenen durumlarda kalkopirit ve piritin tüm örneklerde temas açısı vermesi ve akabinde bazik çözelti haline getirilmesiyle temas açısı değerlerinin azaldığı görülmüştür.
- Artan toplayıcı derişimiyle temas açısı değerinin çok fazla değiştigi gözlemlenmemiştir. Bu durum açıklanacak olursa, artan KAX derişiminin çözelti palp potansiyelini arttırmaması nedeniyle olduğu düşünölmektedir.
- Galvanik etkileşimi incelenen minerallerde temas açısının, pH'a bağlı olarak değişmediği ortaya çıkmıştır.
- Galvanik etkileşim nedeniyle palp potansiyellerinin düştüğü gözlemlenmiştir.
- Pirit-Sfalerit, Kalkopirit-Sfalerit çiftlerinde sfalerit tek başına temas açısı vermezken galvanik etkileşim sayesinde temas açısı verdiği bulgular arasındadır. Bu durum sfaleritin diğer minerallere göre en az durum potansiyeline sahip olması kalkopiritin ve piritin katodik hareket etmesine ve mineraller arası oluşun elektron transferi ve elemental sülfürün oluşması sfaleritin daha hidrofobik olmasına neden olmuştur.

Sonraki çalışmalara öneri olması açısından; toplayıcı koşullarının galvanik etkileşime nasıl etki ettiği ve sfaleritin farklı toplayıcı koşullarında nasıl davranış gösterdiği diğer çalışmalarda incelenebilir.

Sfaleritin bu durumunun flotasyonda hidrofobik olmasına galvanik etkileşimin önemli bir etkisi olmuştur.

KAYNAKÇA

- [1] B. Wills, Mineral Processing Technology (4th edition), New York: Pergamon Press, 1988.
- [2] Y.Aytekin, A.Yamık ve Ü.İpekoğlu, Cevher Hazırlama ve Zenginleştirmedeki Gelişmeler, *Akdeniz Üniversitesi İsparta Müh. Fak. Dergisi, Maden Müh. Sektörü*, pp. 1-13, 1988.
- [3] N. M. Can, Kökenin ve Galvanik Etkileşimin Piritin temas açısına etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 1997.
- [4] S. Atak, Flotasyon İlkeleri ve uygulaması, İstanbul: İTÜ Maden Fakültesi, 1982.
- [5] J. Leja, Surface chemistry of froth flotation, New York: Plenum Press, 1982.
- [6] A. Nguyen ve H. Schulze, Colloidal Science of Flotation, New York: Marcel Dekker, 2004.
- [7] S. Rao ve J. Leja, Surface Chemistry of Froth Flotation, New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2004.
- [8] E. Çilek, Mineral Flotasyonu, Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Isparta, 2006.
- [9] E. Yiğit ve Ş. Özkan, Flotasyon Yöntemi ve Uygulamaları, İstanbul: İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, 2007.
- [10] C. van Oss, Use of the Combined Lifshitz-van der Waals and Lewis Acid-base Approaches in Determining the Apolar Contributions to Surface and Interfacial Tensions and Free Energies, *Journal of Adhesion Science and Technology, Vol.16*, pp. 669-677, 2002.
- [11] T. Young, An essay on the cohesion of fluids, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, pp. 63-87, 1805.
- [12] A. Dupre, Theorie Mecanique de la Chaleur, Paris: Gauthier-Villars, 1869.
- [13] R. E. Johnson, Conflicts Between Gibbsian Thermodynamics and Recent Treatments of Interfacial Energies in Solid-Liquid-Vapour Systems, *J. Phys. Chem.*, 63, pp. 1655-1658, 1959.

- [14] A. M. Gaudin, Flotation 2nd Edition, New York: McGraw-Hill, 1957.
- [15] A. Taggart, T. Taylor ve C. Ince, Experiments with Flotation Reagents, *Trans. AIME*, 87, pp. 285-368, 1930.
- [16] K. L. Sutherland ve I. W. Wark, Principles of Flotation, Melbourne: Aust. Inst. Min. Metall., 1955.
- [17] J. Leja, Surface Chemistry of Froth Flotation, New York: Plenum Press, 1982.
- [18] J. W. Drelich ve A. Marmur, Meaningful contact angles in flotation systems: critical analysis and recommendations, *Surface Innovations* 6, pp. 19-30, 2017.
- [19] J. Leja ve G. W. Poling, On The Interpretation of Contact Angle, *International Mineral Congress, Inst. Min. Metall.*, pp. 325-341, 1960.
- [20] R. Woods, Oxidation of ethyl xanthate on platinum, gold, copper, and galena electrodes. Relation to the mechanism of mineral flotation, *The Journal of Physical Chemistry*, cilt 3, no. 75, pp. 354-362, 1971.
- [21] C. Tanford, The Hydrophobic Effect, New York: Wiley and Sons, 1973.
- [22] I. C. Hamilton ve R. Woods, The effect of alkyl chain length on the aqueous solubility and redox properties of symmetrical dixanthogens, *Australian Journal of Chemistry*, no. 32, pp. 2171-2179, 1979.
- [23] R. Woods, Mineral Flotation, *Comprehensive Treatise of Electrochemistry*, New York, Plenum Press, 1981, pp. 571-595.
- [24] H. Eral ve J. Oh, Contact angle hysteresis: a review of fundamentals and application, *Colloid and Polymer Science* 291 (2), pp. 247-260, 2013.
- [25] D. Feng, A. Nguyen ve X. Tong, Effect of contact angle and contact angle hysteresis on the floatability of spheres at the air-water interface, *Advances in Colloid and Interface Science*, 248, pp. 69-84, 2017.
- [26] R. Tolun, Chemistry of Sulphide Mineral Flotation, *NATO ASI on Mineral Process Design*, pp. 37-75, 1987.
- [27] W. Dennen, Principle of Minerology, New York: Ronald Press, 1959.
- [28] D. Fuerstenau, Froth Flotation: 50th Anniversary Volume, New York: AIMMPE, 1962.
- [29] M. Sato ve H. Mooney, The Electrochemical Mechanism of Sulfide Self Potential, *Geophysics*, pp. 226-249, 1960.

- [30] M. Sato, Oxidation of Sulfide Ore Bodies. I. Geochemical Environments in Terms of Eh and pH, »*Econ. Geo.*, pp. 928-961, 1960.
- [31] M. Sato, Oxidation of Sulfide Ore Bodies, II. Oxidation Mechanism of Sulfide Minerals at 25°C, *Econ. Geo.*, pp. 1202-1231, 1960.
- [32] M. Learmanot ve I. Iwasaki, Effect of Grinding Media on Galena Flotation, *Minerals and Metallurgical Process No:2*, pp. 136-143, 1984.
- [33] D. Fuerstenau, Activation and Deactivation in the Flotation of Sulphide Minerals. The physical chemistry of Mineral-Reagent interactions in Sulfide Flotation, *U.S. Bureau of Mines, inf. Circular 8818*, pp. 101-121, 1978.
- [34] L. Pauling, Crystallography and Chemical Bonding of Sulphide Minerals, *Mineral Soc. Amer. Spec. Rep.*, pp. 125-131, 1970.
- [35] R. Burns ve D. Vaughan, Interpretation of the Reflectivity Behaviour of Ore Minerals, *The American Mineralogist*, pp. 1576-1586, 1970.
- [36] H. Hoberg ve F. Schneider, Investigations into the improvement of floatability of minerals by means of radiation, XI. IMPC, Cagliari, 1975.
- [37] S. J. Pickart, Physical Properties of Sulphide Materials, *Mineral. Soc. Amer. Spec. Pap.*, pp. 145-153, 1970.
- [38] D. Vaughan ve J. Tossell, Electronic Structures of Sulfide Minerals Theory and Experiment, *Physics and Chemistry of Minerals*, pp. 253-262, 1983.
- [39] F. Smith, Variations in the Properties of Pyrite, *The American Mineral Journal*, pp. 1-19, 1942.
- [40] R. Lowson, Aqueous Oxidation of Pyrite by Molecular Oxygen, *Chemical Reviews*, pp. 461-497, 1982.
- [41] E. Maust, P. Richardson ve R. Hyde, A Conceptual Model for the Role of Oxygen in Xanthate Adsorption on Galena, *USBM RI.8143*, 1976.
- [42] F. Aplan, Effects of Point Defects on Flotation, in *The Physical Chemistry of Mineral-Reagent Interactions in Sulphide Flotation*, »*USBM Inf. Circ.*, pp. 25-33, 1978.
- [43] B. A. Wills ve J. Finch, *Froth Flotation, Wills' Mineral Processing Technology (Eighth Edition)*, Amsterdam, Elsevier, 2016, pp. 265-380.

- [44] F. Aplan ve S. Chander, Collectors for sulphide mineral flotation, *Reagents in Mineral Technology*, New York, Marcel Dekker, 1987, pp. 335-371.
- [45] C. Martin, R. McIvor, J. Finch ve S. Rao, Review of The Effect of Grinding Media on Flotation of Sulphide Minerals, *Minerals Engineering; Vol. 4, No.2*, pp. 121-132, 1991.
- [46] S. A. Allison, L. A. Goold, M. J. Nicol ve A. Granville, A Determination of the Products of Reaction Between Various Sulfide Minerals and Aqueous Xanthate Solution and a Correlation of the Products with Electrode Rest Potentials, *Metallurgical Transactions*, pp. 2613-2618, 1972.
- [47] J. Dutrizac, R. MacDonald ve T. Ingraham, Effect of pyrite, chalcopyrite and digenite on rate of bornite dissolution in acidic ferric sulphate solutions, *The Canadian Journal of Metallurgy and Materials Science*, pp. 3-7, 1971.
- [48] J. Dutrizac ve R. MacDonald, The effect of some impurities on the rate of chalcopyrite dissolution, *The Canadian Journal of Metallurgy and Materials Science*, pp. 409-420, 1973.
- [49] H. G. Linge, Reactivity comparison of Australian chalcopyrite concentrates in acidified ferric solution, *Hydrometallurgy*, pp. 219-233, 1977.
- [50] E. Peters, The Electrochemistry of Sulphide Minerals, *Trends in Electrochemistry*, Boston, Springer, pp. 267-290, 1977.
- [51] D. Kocabağ, Sülfür Cevherlerinin Flotasyonu 1. Sülfür Minerallerinin Özellikleri ve Flotasyona Etkileri, *Madencilik*, pp. 33-49, 1992.
- [52] A. Mehta ve L. Murr, Fundamental studies of the contribution of galvanic interaction to acid-bacterial leaching of mixed metal sulphides, *Hydrometallurgy*, pp. 235-256, 1983.
- [53] Z. Ekmekçi ve H. Demirel, Effects of galvanic interaction on collectorless flotation behaviour of chalcopyrite and pyrite, *International Journal of Mineral Processing*, pp. 31-48, 1997.
- [54] X. Cheng ve I. Iwasaki, Pulp potential and its implications to sulphide, *Mineral Proces. Extr. Metall. Review, Vol.11*, pp. 187-210, 1992.
- [55] H. Majima, How oxidation affects selective flotation of complex sulphide ores, *Canadian Metallurgical Quarterly*, pp. 269-273, 1969.
- [56] P. Holmes ve F. Crundwell, Kinetic aspects of galvanic interactions between minerals during dissolution, *Hydrometallurgy*, pp. 353-375, 1995.

- [57] S. Rao ve J. Finch, Galvanic Interaction Studies on Sulphide, *Canadian Metallurgical Quarterly*, pp. 253-259, 1988.
- [58] K. Natarajan ve I. Iwasaki, Eh Measurements in Hydrometallurgical Systems, *Minerals Science Engineering*, no. 6, pp. 35-44, 1974.
- [59] G. Heyes ve W. Trahar, The natural floatability of chalcopyrite, *International Journal of Mineral Processing*, pp. 317-344, 1977.
- [60] R. Garrels ve C. Christ, *Solutions, Minerals and Equilibria*, San Francisco: Cooper and Company, 1965.
- [61] J. Gardner ve R. Woods, An electrochemical investigation of the natural floatability of chalcopyrite, *International Journal of Mineral Processing*, pp. 1-16, 1979.
- [62] S. Chander ve A. Briceno, Kinetics of pyrite oxidation, *International Journal of Mineral Processing*, pp. 171-176, 1987.
- [63] H. Moslemi, P. Shamsi ve M. Alimohammady, Electrochemical properties of pyrite, pyrrhotite, and steel: effects on grinding and, *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, pp. 883-890, 2012.
- [64] D. Kocabağ, H. Shergold ve G. Kelsall, Natural oleophilicity/hydrophobicity of sulphide minerals, II. Pyrite, *International Journal of Mineral Processing*, 29, pp. 211-219, 1990.



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

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

Tarih: 13/06/2019

Tez Başlığı / Konusu: Galvanik Etkileşimin Sülfürlü Minerallerin Temas Açısına Etkisi

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 72 sayfalık kısmına ilişkin, 11/06/2019 tarihinde ~~şahsen~~/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 9 'dur.

Uygulanan filtrelemeler:

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

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

Gereğini saygılarımla arz ederim.

13/06/2019

Adı Soyadı: Deniz AYDIN

Öğrenci No: N12128348

Anabilim Dalı: Maden Mühendisliği

Programı: Maden Mühendisliği- Yüksek Lisans

Statüsü: Y.Lisans Doktora Bütünleşik Dr.

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

(Doç.Dr. N. Metin CAN)

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : Deniz AYDIN

Doğum Yeri : Ankara

Medeni Hali : Bekar

E-posta :

Adres :

Eğitim

Lise : Çankaya Lisesi

Üniversite : Hacettepe Üniversitesi (Maden Mühendisliği)

İş Deneyimi

2017- ETK Uzman Yardımcısı (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı)

Deneyim Alanları

-

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

-

Tezden Üretilmiş Yayınlar

-

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

-

