T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI

SULARDAN ARSENİK GİDERİMİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Erel EDİK

DANIŞMAN

Doç. Dr. Levent ALTAŞ

AKSARAY, 2016

T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI

SULARDAN ARSENİK GİDERİMİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Erel EDİK

DANIŞMAN

Doç. Dr. Levent ALTAŞ

AKSARAY, 2016

AKSARAY ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ONAY BELGESİ

Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 132301401 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi, Erel EDİK, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı SULARDAN ARSENİK GİDERİMİNİN İNCELENMESİ başlıklı tezini, aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Doç. Dr. Levent ALTAŞ** **Aksaray Üniversitesi**	**....……**
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Adı SOYADI** **Kurum Adı**	**.....**
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Adı SOYADI** **Kurum Adı**	**.....**
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Adı SOYADI** **Kurum Adı**	**.....**

Teslim Tarihi: 18.04.2016

Savunma Tarihi: 17.05.2016

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın amacı, doğal ve antropojenik faaliyetler sonucunda ortaya çıkan, arsenik bileşiklerinin, sulu ortamdan kimyasal çöktürme, adsorpsiyon ve uçucu kül kullanılarak uzaklaştırılmasının incelenmesidir. Kullanılan yöntemlerin avantaj ile dezavantajlarının kıyaslanması ve değerlendirilmesinin dikkat çekeceği düşünülmektedir. Bu yöntemler ile sucul ortamdan, arsenik bileşiklerinin uzaklaştırılması ve buna etki eden faktörler incelenmiştir.

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu ve bu eserleri her kullanışımda alıntı yaparak yararlandığımı belirtir; bunu şerefimle doğrularım.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Erel EDİK

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmalarım süresince her türlü ilgi ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Levent ALTAŞ'a teşekkür ederim.

Deneysel çalışmaları ve gerekli araştırmaları gerçekleştirdiğim, her türlü imkanı sağlayan Aksaray Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Laboratuvarına teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmaları gerçekleştirmek için, Aksaray ili içme suyunu arıtma tesislerinden almama izin veren ve yardımlarını esirgemeyen Aksaray Belediyesi'ne ve arıtma tesisi çalışanlarına teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım için bana burs sağlayan Türkiye Çevre Koruma Vakfı'na "TÜÇEV" teşekkür ederim.

Çalışmalarım da yardımlarını esirgemeyen tüm hocalarıma ve özellikle Yrd. Doç. Dr. İsmail ŞİMŞEK'e, Arş. Gör. Alper ALVER'e, Arş. Gör. Emine BAŞTÜRK'e ve Arş. Gör. Şevket TULUN ile değerli arkadaşım Serkan ŞAHİN'e teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca bana her türlü maddi manevi desteği veren ve her zaman yanımda olan ailem ile tez çalışmalarım boyunca desteğini esirgemeyen nişanlım Tuğba BALCI'ya teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ... **ii**
DOĞRULUK BEYANI ... **iii**
TEŞEKKÜR ... **iv**
İÇİNDEKİLER ... **v**
1. GİRİŞ ... **1**
2. LİTERATÜR ÖZETİ ... **2**
2.1 Arsenik
2.1.1 Kimyası ... 3
2.1.2 Dünya ve Türkiye'deki durum ... 9
2.1.3 Halk sağlığı etkileri ... 10
2.1.4 İçme suyu standartları ... 11
2.2 Kimyasal Çöktürme ... 14
2.2.1 Kullanılan kimyasallar ve uygulamaları ... 14
2.2.2 Oluşumu ... 15
2.3 Adsorpsiyon ... 17
2.3.1 Türleri ve izotermleri ... 18
2.3.2 Özelliklerini etkileyen parametreler ... 19
3. MALZEME VE YÖNTEM ... **21**
3.1 Sudaki Arsenik Tayini, Suyun İçeriği Ve Analiz Metotları ... 21
3.2 Kimyasal Çöktürme ... 26
3.3 Adsorpsiyon (Pomza, Tüf, Zeolit) ... 29
3.4 Uçucu Kül ... 30
3.4.1 İçeriği ... 30
3.4.2 Sudaki durumu ve suya etkisi ... 32
3.4.3 Arsenik gideriminde kullanılması ... 33
3.4.4 Yıkanmış ve yıkanmamış uçucu küllerin verimi ... 34
3.4.5 Giderimde kullanılan uçucu külün geri kazanılması ... 34
4. BULGULAR VE TARTIŞMA ... **35**
4.1 Demir Klorür ... 36
4.2 Demir Sülfat ve Kireç ... 43
4.3 Adsorpsiyon ... 53
4.4 Uçucu Kül ... 57

4.5 Modelleme Çalışması 81
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 82
KAYNAKLAR 85
EKLER **88**
ÖZGEÇMİŞ **104**

ÖZET

SULARDAN ARSENİK GİDERİMİNİN İNCELENMESİ

Arsenik, doğal süreçler ve antropojenik faaliyetler sonucu oluşan, insan sağlığı açısından risk oluşturan, üzerinde önemle durulması gereken bir su kirleticisidir. Çeşitli şekillerde (temas, besin zinciri) insanlara ulaşması sonucu arsenik, derişim ve birikim yerine bağlı olarak cilt, mesane, akciğer ve böbrek kanserlerine neden olmaktadır. WHO, bu riskleri dikkate alarak içme ve kullanma sularında arsenik konsantrasyonunun 10 ppb seviyesinde olmasını tavsiye etmiştir. Su arıtımında başlıca arsenik giderim yöntemleri; kimyasal çöktürme, adsorpsiyon, membran arıtma sistemleri, demir mangan oksidasyonu ve kireçle yumuşatmadır.

Bu çalışmada, içme sularından kimyasal çöktürme ve adsorpsiyon ile arsenik giderimi araştırılmış, yöntem optimum şartlarının tespitiyle birlikte karşılaşılan problemlerde ortaya konulmuştur.

Çöktürücü olarak demir içeren bileşiklerin kullanıldığı Kimyasal Çöktürme yönteminde; kimyasal dozu, karıştırma hızı ve süresi incelenmiştir. Arsenik gidermede istenilen verimleri sağlayan şartlar, demir klorür için; uygun doz, 7 ml L^{-1}, hızlı karıştırma süresi 75 s, hızı 150 dv/dk, yavaş karıştırma süresi 1 dk, hızı 45 dv/dk, çökelme süresi ise 30 dk olarak bulunmuştur. Demir sülfatta; doz 5 ml, hızlı karıştırma süresi 75 s, hızı 120 dv/dk, yavaş karıştırma süresi 3 dk, hızı 45 dv/dk ve çökelme süreside 30 dk olarak bulunmuştur.

Adsorban olarak doğal materyal ve atık maddelerin kullanıldığı Adsorpsiyon çalışmalarında, kinetik, izoterm çalışmaları ışığında, karıştırma süresi verimlerinin istenilenden çok düşük olması nedeniyle belirlenmemiştir. Uçucu kül çalışmalarında ise; dozaj, pH, çalkalama süreleri ve hızları ile uçucu külün ultra safsu ile yıkanmış halinin, adsorpsiyon çalışması parametreleri incelenmiştir. Pomza, tüf ve zeolit çalışmalarının arıtım verimleri dikkate alınmayacak kadar küçüktür, uçucu külde ise durum, çok küçük dozajlarda bile yüksek verim sağlandığı bulunmuştur.

Kimyasal çöktürme yönteminde, arıtım verimleri istenilen seviyelerdedir ve kimyasalların maliyeti ile temin edilmesi dışında, olumsuz yanları pek bulunmamaktadır. Adsorpsiyon sistemlerinde ise verim sadece demir kaplı pomzada etkinse de, hem maliyet hem de diğer yöntemlere göre daha az verim elde edilmesinden dolayı, tercih edilmesi düşük ihtimallidir. Uçucu külde ise düşük dozlarda yüksek verim elde edilmesi, maliyet gerektirmeyen atık ürün olması nedeniyle tercih edilebilecek önemli bir yöntemdir, fakat yapısındaki ağır metaller ve kimyasal bileşiklerinde, suya olan etkisi göz önünde bulundurulmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Arsenik, kimyasal çöktürme, kireç, adsorpsiyon, tüf, pomza, zeolit, uçucu kül

ABSTRACT

REMOVAL OF ARSENIC FROM WATERS

Arsenic is a water pollutant whrch coused by natural processes and anthropogenic activties, poses ask to human health, considerated on sericously. As a result of catching people in various ways such as touching or food, arsenic causes of skin, blader, lungs and kidney cansers because of depending an concentration and accumutation place. WHO recommends that the level arsenic concentration in drinking and using water should 10 pph by taking into account the risk.

In this study, it was investigated the removal of arsenic in drinking water by chemical precipitation and adsorption, the problems are also reveated with identification of method optimum conditions.

Chemicial dose, mixing speed and mixing time were exomined in chemical methods using compounds contoining ferric as a precipitant. The conditions of prouding the required efficiency in the removal of arsenic; an appropriate dosage of ferric choloride 7 ml L^{-1}, rapid mixing time 75 h, speed 150 rpm, slow mixing time 1 m, speed 45 rpm, the time of deposition 30 m. In copperas; dosage 5 ml, fast mixing time 75 h, speed 120 rpm, slow mixing time 3 m, speed 45 rpm and the time of deposition 30 m.

In adsorption studies where natural materials and waste materials were used as adsorbent, as the fertility of mixing time was lower than expected, kinetic was not able to determined in the light of isoterm studies. In the fly ash studies, the parameters of adsorption studies of dosage, pH, rinsing time, rising speed and the washed state of fly ash with ultre pure water were investigated. Thetreatment efficiency of pumice, tuff and zeolite studies is too low to take into consideration; however as to fly ash, it is highly efficient even in very little dosages.

In the chemical precipitation method, the treatment effeciencies are at the desired level and they have no negative sides except the cost of chemicals and supply. Although efficiency is only active at iron coated pumice in adsorption systems, it is not adviced to prefer because it is less effective in terms os cost and other methods. Fly ash is an essential method to be chosen as it is highly effective in lower dosages and as it is residuum that requires no cost; however, the effects of the heavy metals and chemical components in its structure should be taken into consideration.

Key Words: Arsenic, chemical precipitation, lime, adsorption, tuff, pumice, zeolite, fly ash

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1:İnorganik arsenik için Eh-pH diyagramı 4
Şekil 2.2: pH'ın fonksiyonu olarak As (III)'ün dağılımı 5
Şekil 2.3: pH'ın fonksiyonu olarak As (V)'ün dağılımı 5
Şekil 2.4: Doğada arsenik döngüsü 7
Şekil 2.5: Jar testi cihazı 15
Şekil 2.6: Adsorpsiyon sistemi 18
Şekil 3.1: İstenilen verimlerde demir klorür ve demir sülfat çalışması 27
Şekil 3.2: Demir klorür jar testi 28
Şekil 3.3: Demir sülfat jar testi 29
Şekil 3.4: ICP cihazı 30
Şekil 3.5: Uçucu kül yıkama ortamının özelliği 33
Şekil 4.1: Doz çalışması verim ve bulanıklık grafiği 36
Şekil 4.2: Doz çalışması ve bulanıklık grafiği 37
Şekil 4.3: Demir klorür hızlı karıştırma süre grafiği 38
Şekil 4.4: Demir klorür hızlı karıştırma hız grafiği 39
Şekil 4.5: Demir klorür yavaş karıştırma süre grafiği 40
Şekil 4.6: Demir klorür yavaş karıştırma hız grafiği 41
Şekil 4.7: En verimli şartlarda 3 ve 5 değerlikli arsenik çalışması grafiği 42
Şekil 4.8: Demir sülfat doz çalışması verim ve bulanıklık grafiği 43
Şekil 4.9: Demir sülfat doz çalışması verim ve bulanıklık grafiği 44
Şekil 4.10: Demir sülfat doz çalışması verim ve bulanıklık grafiği 46
Şekil 4.11: Kireç dozu, verim ve bulanıklık grafiği 47
Şekil 4.12: Hızlı karıştırma süre grafiği 48
Şekil 4.13: Hızlı karıştırma, hız grafiği 49
Şekil 4.14: Yavaş karıştırma, süre grafiği 50
Şekil 4.15: Yavaş karıştırma, hız grafiği 51
Şekil 4.16: En verimli şartlarda 3 ve 5 değerlikli arsenik çalışması grafiği 52
Şekil 4.17: Demir kaplı pomza çalışması grafiği 54
Şekil 4.18: Demir kaplı olmayan pomza çalışması grafiği 55
Şekil 4.19: Uçucu kül süre çalışması grafiği 58
Şekil 4.20: Uçucu kül kalkalama süresi çalışması grafiği 60
Şekil 4.21: Dozaj çalışması grafiği 61
Şekil 4.22: Çalkalama hızı çalışması grafiği 62
Şekil 4.23: pH çalışması grafiği 63
Şekil 4.24: 3 tekrarlı adsorpsiyon çalışması grafiği 66
Şekil 4.25: yıkanmış ve yıkanmamış uçucu kül çalışması grafiği 69
Şekil 4.26: Kurutulmuş uçucu kül ile yapılan adsorpsiyon çalışması grafiği 72
Şekil 4.27: Yıkanmış uçucu külün süzüntü çalışması 74
Şekil 4.28: 50. yıkama süzüntü çalışması grafiği 76
Şekil 4.29: Uçucu külle yapılan adsorpsiyon çalışması grafiği 80

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Kirlenmiş topraklardaki arsenik konsantrasyonları (mg/kg) 8
Çizelge 2.2: 6 maden atığında ölçülen arsenik konsantrasyonları 9
Çizelge 2.3: Arsenik için içme suyu standartları 12
Çizelge 3.1: Aksaray İli içme suyu kaynakları (hamsu) analiz sonuçları 21
Çizelge 3.2: Sindirilmiş Uçucu Kül İçereiği 31
Çizelge 3.3: Uçucu kül yıkama ortamı 32
Çizelge 4.1: Geniş aralık demir klorür doz çalışması (Hızlı karıştırma 2 dk, 200 dv/dk, yavaş karıştırma 5 dk, 30 dv/dk ve çökelme süresi 30 dk) 36
Çizelge 4.2: Dar aralık demir klorür doz çalışması (Hızlı karıştırma 2 dk, 200 dv/dk, yavaş karıştırma 5 dk, 30 dv/dk ve çökelme süresi 30 dk) 37
Çizelge 4.3: Demir klorür hızlı karıştırma süre çalışması (yavaş karıştırma 5 dk, 30 dv/dk, çökelme süresi 30 dk) 38
Çizelge 4.4: Demir klorür hızlı karıştırma hız çalışması (yavaş karıştırma 5 dk, 30 dv/dk, çökelme süresi 30 dk) 39
Çizelge 4.5: Demir klorür yavaş karıştırma süre çalışması (Hızlı karıştırma 2 dk, 200 dv/dk, çökelme süresi 30 dk) 40
Çizelge 4.6: Demir klorür yavaş karıştırma hız çalışması (Hızlı karıştırma 75 sn, 150 dv/dk, çökelme süresi 30 dk) 41
Çizelge 4.7: En verimli şartlarda 3 ve 5 değerlikli arsenik çalışması (Hızlı karıştırma 75 sn, 150 dv/dk, yavaş karıştırma 1 dk, 45 dv/dk, çökelme süresi 30 dk) 42
Çizelge 4.8: Geniş aralık demir sülfat doz çalışması (Yardımcı koagülant (kireç) 0,1 gr, hızlı karıştırma süresi 2 dk, hızı 200 dv/dk, yavaş karıştırma süresi 5 dk, hızı 30 dv/dk, çökelme süresi 30 dk) 43
Çizelge 4.9: Demir sülfat doz çalışması (Yardımcı koagülant (kireç) 0,1 gr, hızlı karıştırma süresi 2 dk, hızı 200 dv/dk, yavaş karıştırma süresi 5 dk, hızı 30 dv/dk, çökelme süresi 30 dk) 44
Çizelge 4.10: Demir sülfat doz çalışması (Yardımcı koagülant (kireç) 0,2 gr, hızlı karıştırma süresi 2 dk, hızı 200 dv/dk, yavaş karıştırma süresi 5 dk, hızı 30 dv/dk, çökelme süresi 30 dk) 45
Çizelge 4.11: Yardımcı koagülant; kireç dozu çalışması (Hızlı karıştırma süre 2 dk, hız 200 dv/dk, yavaş karıştırma süre 5 dk, hız 30 dv/dk, çökelme süresi 30 dk) 47
Çizelge 4.12: Hızlı karıştırma süre çalışması (Kireç 0,14 gr, yavaş süre 5 dk, hız 30 dv/dk, çökelme süre 30 dk) 48
Çizelge 4.13: Hızlı karıştırma, hız çalışması (Kireç 0,14 gr, yavaş karıştırma süre 5 dk, hız 30 dv/dk, çökelme süresi 30 dk) 49
Çizelge 4.14: Yavaş karıştırma, süre çalışması (Kireç 0,14 gr, hızlı karıştırma süreleri 75 s, hızları 120 dv/dk, çökelme süreleri 30 dk) 50
Çizelge 4.15: Yavaş karıştırma, hız çalışması (Kireç dozu; 0,14 gr, hızlı karıştırma süreleri 75 s, hızları 120 dv/dk, çökelme süreleri 30 dk) 51
Çizelge 4.16: En verimli şartlarda 3 ve 5 değerlikli arsenik çalışması (Kireç dozu; 0,14 gr, hızlı karıştırma süreleri 75 s, hızları 120 dv/dk, yavaş karıştırma süreleri 3 dk, hızları 45 dv/dk, çökelme süreleri 30 dk) 52
Çizelge 4.17: Demir kaplı pomza adsorpsiyon kinetiğinin çalışması (1 gr demir kaplı pomza 100 ml giriş sularına ilave edilerek tablodaki sürelerde, 200 dv/dk hızla çalkalandı) 53

Çizelge 4.18: Demir kaplı olmayan pomza çalışması (1 gr demir kaplı olmayan pomza 100 ml giriş suyuna ilave edilerek 60 dk, 200 dv/dk hızla çalkalandı)..... 55
Çizelge 4.19: Çeşitli adsorban madde çalışmaları (Adsorban maddelerden 1 gr giriş sularına ilave edilerek, 60 dk, 200 dv/dk hızla çalkalandı)..... 56
Çizelge 4.20: Uçucu kül süre çalışması (1 gr uçucu kül ilave edilerek, 200 dv/dk hızlarda çalkalandı)..... 57
Çizelge 4.21: Uçucu kül çalkalama süresi çalışması..... 59
Çizelge 4.22: Uçucu kül dozaj çalışması (Çalkalama süre ve hızı; 60 s, 200 dv/dk) 61
Çizelge 4.23: Uçucu kül çalkalama hızı çalışması (Doz; 1 gr, süre; 60s)..... 62
Çizelge 4.24: Uçucu kül, giriş suyu pH değerleri (Süre; 60s, Hız 200 dv/dk, doz; 1gr) 63
Çizelge 4.25: Uçucu kül çalışması..... 65
Çizelge 4.26: yıkanan ve yıkanmayan uçucu kül adsorpsiyon çalışması..... 67
Çizelge 4.27: Kullanılmış uçucu kül ile yapılan adsorpsiyon çalışması (süre; 60s hız; 200 dv/dk, doz; 1 gr)..... 71
Çizelge 4.28: yıkanmış uçucu kül süzüntüsü çalışmaları (25 kez ultra safsu ile yıkanmış uçucu kül)..... 73
Çizelge 4.29: 50. kez uçucu kül ile yıkanmış uçucu külün süzüntü su çalışması..... 75
Çizelge 4.30: Keson kuyu arsenik ve ağır metal belirleme çalışması..... 77
Çizelge 4.31: Uçucu kül ile yapılan adsorpsiyon çalışması..... 78

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Al : Alüminyum
As : Arsenik
Ca: : Kalsiyum
Cl : Klorür
Cu : Bakır
dk : Dakika
dv : Devir
Fe : Demir
K : Potasyum
Mg : Magnezyum
mg : Miligram
Mn : Mangan
Na : Sodyum
Ni : Nikel
L : Litre

s : saniye

Zn : Çinko

1. GİRİŞ

Yer kabuğunda bulunan ve insanlar için zehirlilik özelliği gösteren arsenik (As), doğal yollar ile yeraltı suyu kaynaklarına ve endüstriyel atıklar, fosil yakıtların yakılması, tarımda ve hayvancılıkta kullanılması gibi antropojenik faaliyetler sonucunda su döngülerine karışmaktadır. Arsenik; renksiz, kokusuz ve tatsız olduğundan suda veya yiyeceklerde farkına varılabilmesi oldukça güçtür. Küresel ısınma ile meydana gelen iklim dengesizlikleri ve artan nüfus ile beraber yüzeysel su kaynaklarının aşırı kirlenmesi, yer altı suyunun kullanım miktarının artmasına neden olmuştur [1].

İnsanların arseniğe maruziyeti; arsenik içeren gıdalar, içme suyu ve hava sebebiyle meydana gelmektedir. Ancak en etkin maruziyet içme ve kullanma suları ile olmaktadır. Uzun süre arsenik alımı sonucu insanlarda mide, bağırsak, karaciğer, böbrek, kalp rahatsızlıkları ile nörolojik, dermal, hematopoietik, üreme ve kanserojenik (deri ve akciğer) hastalıkları meydana geldiği bilinmektedir [2].

Dünya Sağlık Örgütü'nün tıp alanında yapmış olduğu araştırmalar, içme suyu ile 50 $\mu g\ L^{-1}$'den fazla arseniğe maruz kalan insanlarda kansere yakalanma riskinin 1/100 olduğu saptanmıştır.

İçme sularından arsenik giderilmesinde; Kimyasal çöktürme, Adsorpsiyon, Membran Filtrasyon, İyon Değiştirme ve Elektrokimyasal Yöntem gibi arıtma gibi arıtma proses ve operasyonları başta gelmektedir. Bu sistemlerin tercih edilmesinde; maliyet, arıtılacak suyun durumu, arıtma verimi ve çevresel etki kriterleri öne çıkmaktadır.

Bu çalışmada farklı yöntemler (kimyasal çöktürme, adsorpsiyon ve uçucu kül) kullanılarak Aksaray İli içme suları ve sentetik sucul çözeltilerden arsenik giderimi çalışılmış ve yöntemlerin avantaj, dezavantajları ortaya konulmuştur.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1 Arsenik

Arsenik yer kabuğunda en çok bulunan elementlerden biridir. Periyodik tablonun VA gurubunda yer alan arsenik, metal olmayan ya da metaloid olarak sınıflandırılmaktadır. Tarım, eczacılık başta olmak üzere birçok endüstride hammadde olarak kullanılıyor olmasına rağmen insanlar ve diğer canlılar üzerinde etkilere sahiptir. Özellikle yeraltı sularının toprak ve kayaçlardan geçerken bazı bileşik ve mineralleri çözmesinin bir sonucu olarak sularda arsenik bulunabilmektedir [3]. Arsenik zehirlilik özelliği göstermektedir. Günümüz Dünya'sında doğal sulardaki arsenik konsantrasyonu Dünya çapında bir sorundur [5].

Çözünmüş formdaki arsenik sularda, ortamın redoks potansiyeline göre genellikle 3+ (arsenit) veya 5+ (arsenat) değerliklidir [4]. Anaerobik koşullarda As (III), aerobik koşullarda ise As (V) formu baskın durumdadır. Arsenik su ortamına doğal ve antropojenik kaynaklı olarak girebilir ve birikebilir. Sularda organik ve inorganik formları bulunabilen arseniğin; inorganik formda olanları daha baskın ve daha toksiktir [1].

Yeraltındaki ve yerüstü sularında, arsenik kirlenmesine bağlı olarak Dünya'da bazı bölgelerde içme sularında inorganik formda bulunan arsenik akut toksisiteye neden olabilmektedir. Ayrıca insanlar için kanserojen etkiye sahip olduğu ispatlanmıştır [6].

Dünya'da birçok ülkede doğal olarak oluşan ve yeraltı sularında bulunan arsenik kirliliği nedeniyle 100 milyonun üzerinde kişiyi etkilemektedir. İçme sularında yüksek miktarlarda arsenik bulunan yerler Batı Bengal Deltası, Çin ve Yeni Zelanda'dır [7]. Özellikle Hindistan ve Bangladeş'te içme sularındaki arseniğin nüfusun önemli bir kısmını etkilediği tespit edilmiştir [3].

Son yıllarda Türkiye'de özellikle batı bölgelerde maksimum kirletici seviyesinden (10 $\mu g\ L^{-1}$) yüksek miktarda arsenik içeren içme suyu kaynaklarına rastlanmıştır. Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı tarafından hazırlanan "İnsani Gelişme Raporu 2006

Kıtlığın Eşiğinde: Güç, Yoksulluk ve Küresel Su Krizi" adlı raporda Türkiye arsenik kirlenmesi olasılığı bulunan ülkeler arasında gösterilmiştir [3].

Küresel ısınma ile meydana gelen iklim dengesizlikleri ve artan nüfus ile beraber yüzeysel su kaynaklarının aşırı kirlenmesi yeraltı su kullanım miktarının artmasına neden olmuştur. Aksaray ili ve civarında son yıllarda yeraltı suyunun aşırı şekilde içme ve sulama suyu olarak kullanılması bu bölgede yeraltı sularının önemini daha da artırmıştır [1].

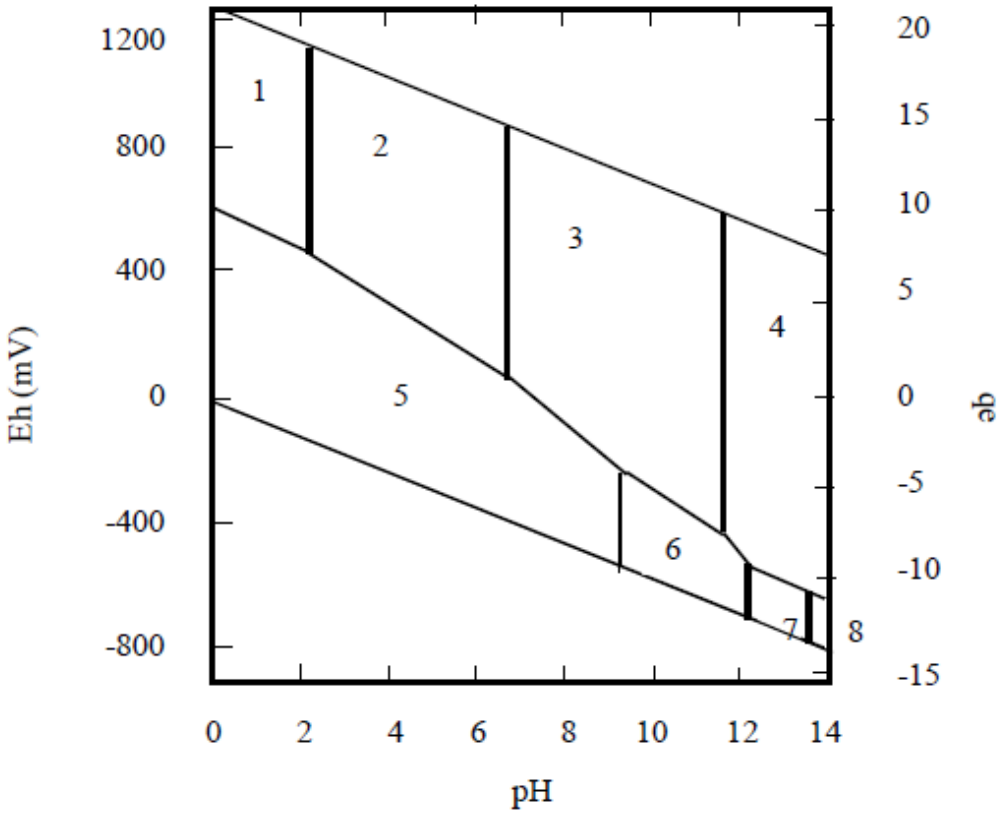
2.1.1 Kimyası

Arseniğin birçok forma sahip olması nedeniyle kimyasını anlamak oldukça güçtür. Doğada kolay bir şekilde oksidasyon basamağını ve kimyasal formunu değiştirir. Arseniğin değerliğini ve türünü, suyun pH değeri, redoks potansiyeli, sülfür, demir ve kalsiyum gibi iyonların varlığı ve mikrobiyal aktivite etkilemektedir. pH ve redoks potansiyeli, arsenik türünü kontrol eden en önemli parametrelerdir [8]. Madensi, renksiz ve kokusuz olan arseniğin su da bulunan en yaygın türleri arsenit As (III) (örn H_3AsO_3) ya da arsenat As (V) (örn $H_2AsO_4^-$)'tır [5]. Arseniğin 5 değerlikli oksidasyon durumunda bulunan organik türlerinden dimetilarsinik asit [DMAA; $(CH_3)_2AsO(OH)$]ve monometilarsonik asit [MMAA; $CH_3AsO(OH)_2$] yerüstü sularda daha az görülmekle birlikte bu organik türlerin miktarı; mikrobiyal aktivite (bakteri, maya, su yosunu) sonucu (metilleme reaksiyonları) artış gösterebilmektedir [9, 10].

Doğada 5+,3+,0,3- oksidasyon basamaklarında bulunur, 3- ve 0 değerlikli arsenik doğada nadiren bulunur. . Şekil 1'de inorganik arsenik için pH ve redoks potansiyeli grafiği görülmektedir. Yükseltgenme durumunda yani Eh değeri pozitif iken arsenat baskın türdür. Dolayısıyla arsenit daha çok yeraltı, arsenat ise yerüstü sularında bulunur [9]. Doğada kolay bir şekilde oksidasyon basamağını ve kimyasal formunu değiştirir. Arseniğin değerliğini ve türünü suyun pH değeri, redoks potansiyeli, sülfür, demir ve kalsiyum gibi iyonların varlığı ve mikrobiyal aktivite etkilemektedir [10, 11].

pH ve redoks potansiyeli, arsenik türünü kontrol eden en önemli parametrelerdir [9]. Arsenikli bileşiklerin toksisitesi, değerliklerine, organik veya inorganik formda bulunmalarına, adsorban madde ve giderimlerini etkileyen fiziksel durumlarına bağlıdır. Genellikle inorganik arsenik organik arsenikten daha toksiktir ve 3+ değerlikli arsenit nötral ve 5+ değerlikli arsenikten çok daha toksiktir [12-14]. Şekil

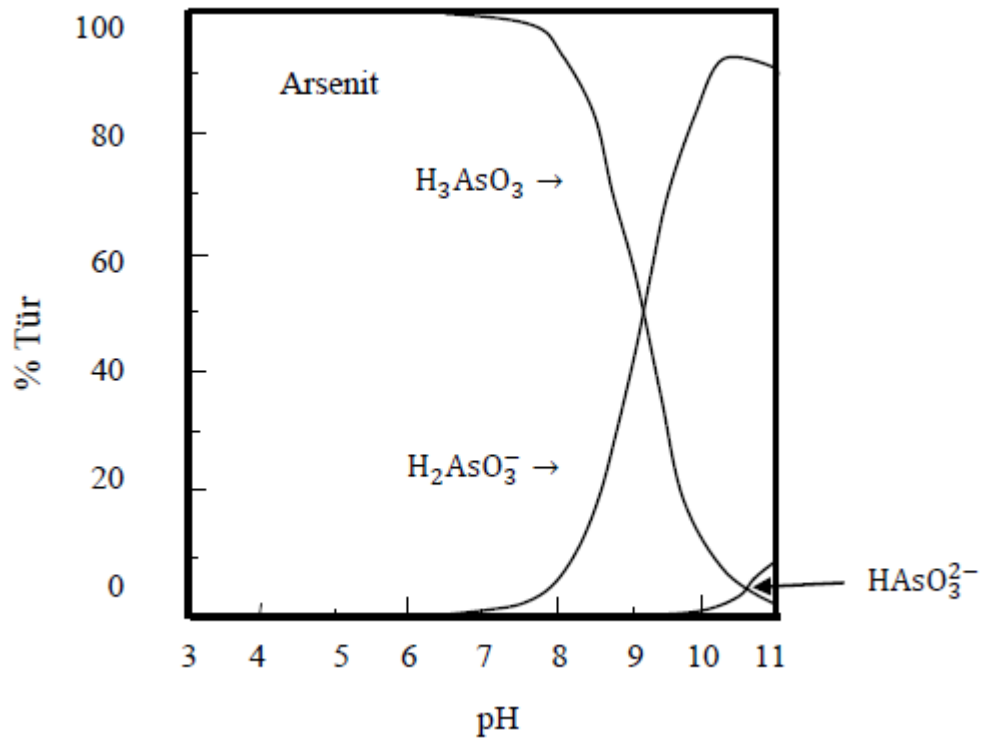
2.1’de ortamın pH ve qE değerlerine göre arsenik bileşiklerinin dağılımı verilmiştir [9];



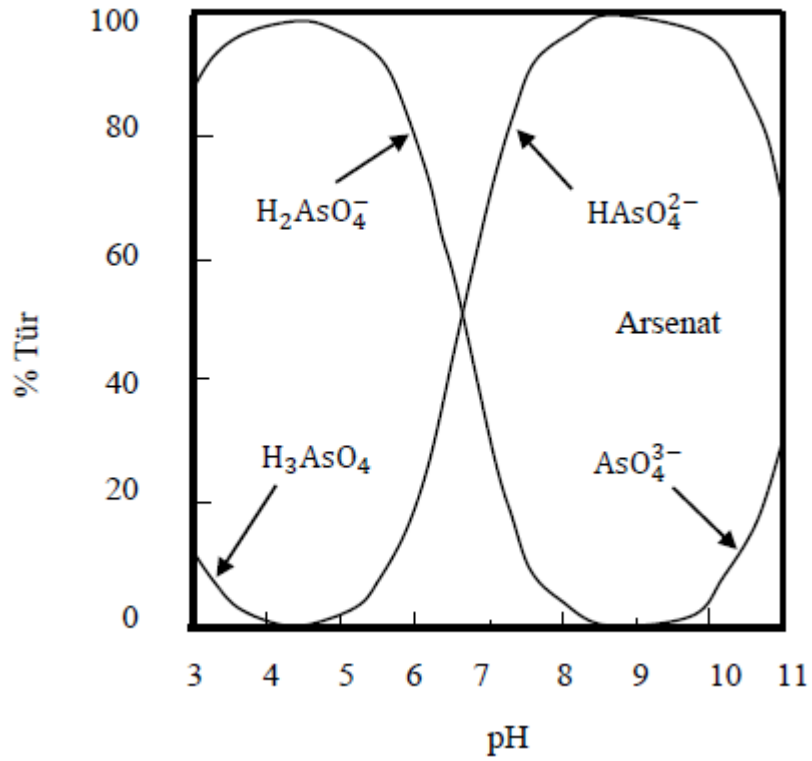
Şekil 2.1:İnorganik arsenik için Eh-pH diyagramı

1	2	3	4	5	6	7	8
$\mathbf{H_3AsO_4}$	$\mathbf{H_2AsO_4^-}$	$\mathbf{HAsO_4^{2-}}$	$\mathbf{AsO_4^{3-}}$	$\mathbf{H_3AsO_3}$	$\mathbf{H_2AsO_3^-}$	$\mathbf{HAsO_3^{2-}}$	$\mathbf{AsO_3^{3-}}$

Arsenit sulu çözeltilerde dört formda bulunur: H_3AsO_3 / $H_2AsO_3^-$/$HAsO_4^{2-}$/AsO_3^{3-}. Benzer şekilde arsenat da dört formda bulunur: H_3AsO_4/$H_2AsO_4^-$/$HAsO_4^{2-}$/AsO_4^{3-}. Yeraltı sularının en çok bulunduğu pH aralığı olan 6-9 aralığında baskın olan arsenit türü (H_3AsO^3) yüksüz iken, baskın olan arsenat türleri 1- ($H_2AsO_4^-$) ve 2- ($HAsO_4^{2-}$)yüklüdür [3, 11]. Yükseltgenme durumunda $H_2AsO_4^{2-}$ düşük pH’larda (< 6.9) baskın tür iken daha yüksek pH’larda $HAsO_4^{2-}$ baskın tür olmaktadır. H_3AsO_4 son derece asidik ve AsO_4^{3-} ise son derece bazik şartlarda bulunmaktadır. İndirgenme durumunda ise; pH’ın 9.2’den daha düşük olduğu durumlarda yüksüz olan H_3AsO_3 baskın durumdadır (Şekil 2.2 ve 2.3) [9].



Şekil 2.2: pH'ın fonksiyonu olarak As (III)'ün dağılımı



Şekil 2.3: pH'ın fonksiyonu olarak As (V)'ün dağılımı

İndirgen şartların hakim olduğu sularda, arsenit aşağıda verilen tepkimelere göre iyonlaşmaktadır [15];

$$H_3AsO_3 \rightarrow H^+ + H_2AsO_3^- \; pKa = 9{,}22$$

$$H_2AsO_3^- \rightarrow H^+ + HAsO_3^{2-} \; PKa = 12{,}3$$

Yükseltgen ortamda ise arsenat aşağıda verilen tepkimelere göre iyonlaşmaktadır [15];

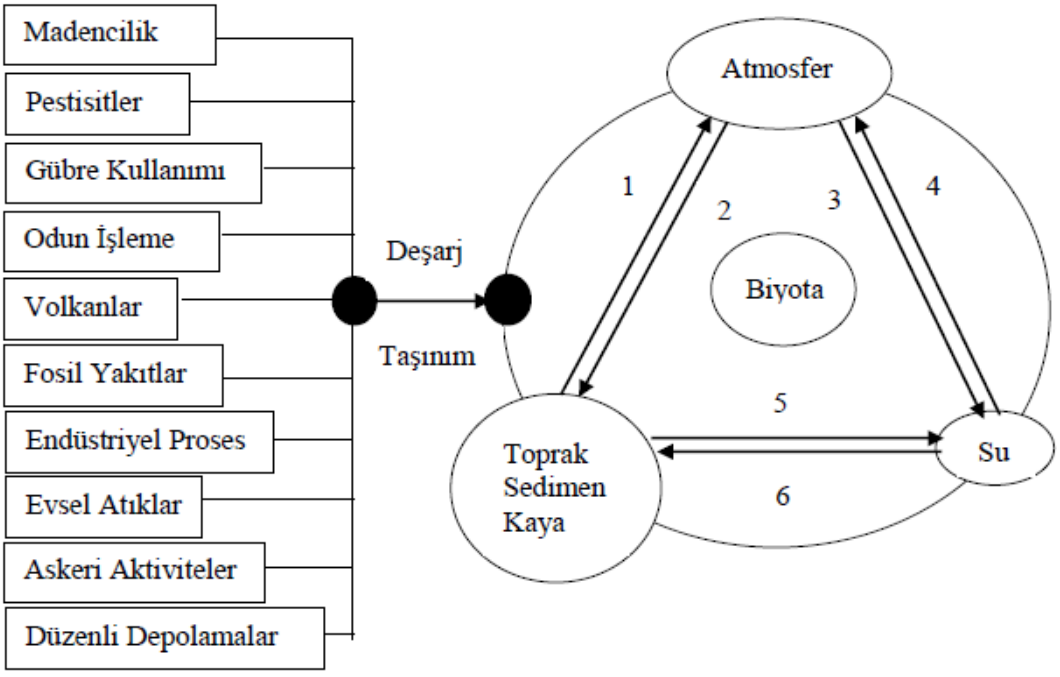
$$H_3AsO_4 \rightarrow H^+ + H_2AsO_4^- \qquad pKa = 2{,}2$$

$$H_2AsO_4^- \rightarrow H^+ + HAsO_4^{2-} \qquad pKA = 7{,}08$$

$$HAsO_4^{2-} \rightarrow H^+ + AsO_4^{3-} \qquad pKa = 11{,}5$$

2.1.1.1 Doğal kaynaklar

Yerkabuğunda bulunan elementler arasında 20. sırada yer almaktadır. Yerkabuğunun üst kısmındaki arsenik miktarı 6 mg/kg olmak üzere toplam miktarının $4{,}01\times10^{16}$ olduğu tahmin edilmektedir [10]. Doğal kaynaklardan salınan emisyonu yıllık ortalama, 12 Mt'dir. Bu kaynaklar rüzgarın kaldırdığı karasal tozlar, orman yangınları, volkanlar, deniz suyu spreyleşmesi, kaplıcalar ve gayzerlerdir (şekil 2.4). Atmosferik aerosoller, doğal As emisyonunun % 30-50'si arasındadır, oysaki volkanik patlamalar doğal emisyonların % 20-40'nı oluşturmaktadır. Deniz tuzu aerosolleride As emisyonuna < %10'luk katkıda bulunmaktadır [7, 16].



1→ Uçucular, Mikrobiyal Aktiviteler
2→ Islak, Kuru Çökelme
3→ Islak, Kuru Çökelme
4→ Uçucular, Mikrabiyal Aktiviteler
5→ Sorpsiyon-Desorpsiyon, Çökelme-Çözünme
6→ Yükseltgenme-İndirgenme, Mikrobiyal Aktivite

Şekil 2.4: Doğada arsenik döngüsü

Çevredeki arsenik kaynakları doğal ve antropojenik faaliyetlerden kaynaklanmaktadır. Doğal ortamdaki en yaygın arsenik kaynakları; volkanik kayalar, kendiliğinden ayrışma ürünleri ve kül, deniz tortul kayaçları, hidrotermal maden yatakları ve ilgili jeotermal sular ve fosil yakıtlar olmak üzere özellikle kömür ve petroldür. Doğal sularda arsenik oluşumu akiferlerin yerel jeolojisine, hidrolojisine, jeokimyasal karakteristiklerine [7].

Yerüstü sularında arsenik konsantrasyonu 0,15-0,45 $\mu g\ L^{-1}$, deniz suyunda 0,009-24 $\mu g\ L^{-1}$ arasında değişmektedir [10]. Sularda arseniğin doğal kaynakları bir çok doğal jeokimyasal süreçle gerçekleşir; arsenik taşıyan sülfitlerin (SO_3^{2-}) oksidasyonu, (hidro) oksitten arsenik desorpsiyonu (örn; demir, alüminyum ve mangan oksitler), karbonatlar tarafından sülfitlerden indirgenen arsenik taşıyan demir (hidro) oksitler, jeotermal sudaki arseniğin serbest ve evoporatif dağılmasıyla arsenik liçi oluşumudur [7].

Doğal yeraltı suyundaki arsenik sorunu; Hindistan (Batı Bengal), Vietnam, Tayvan, Meksika, Arjantin, Şili, Macaristan, Romanya ve ABD'nin birçok yerinde görülmektedir. Özellikle Bangladeş'te önemli bir problem oluşturmaktadır, yaklaşık 40 milyon insan akut risk altındadır. Kronik arsenik zehirlenmesi Bangladeş'teki ölümlerin en önemli denenlerinden bir tanesidir [10].

2.1.1.2 Antropojenik kaynaklar

Çevrede arsenik oluşturan başlıca antropojenik faaliyetler, evsel ve endüstriyel atıklardan demirli olmayan metal madenleri ve bunların ergitilmeleri, fosil yakıtların işlenmesi ve yanması, pestisitlerin üretimi ve kullanılması, bertaraf ile yakma dahil uygulanan işlemlerdir [7]. Madenler, eritilmesi ve cevherlerin işlenmesi, tarım ilaçları, gübreler ve kimya endüstrisi, kömür, ahşap koruma endüstrileri ve korunmuş ahşap atıklarının yakılması ile termik santraller çevreye yıllık büyük miktarlarda As kirliliği yayarlar (Çizelge 2.1) [16];

Çizelge 2.1: Kirlenmiş topraklardaki arsenik konsantrasyonları (mg/kg)

Kirleticiler	**Topraktaki Arsenik(mg/kg)**	**Ülke**
Mineralize kaya	729	Büyük Britanya
Metal madenciliği (demir hariç)	90-900	Büyük Britanya
Metal işleme endüstrisi	2500	Büyük Britanya
Metal işleme endüstrisi	150-2000	Polonya
Metal işleme endüstrisi	10-2000	Macaristan
Metal işleme endüstrisi	38-2470	Japonya
Bakır-Arsenik haddanesi	798-4424	San Luis Potosi, Meksika
Demir ve altın madenciliği	200-860	Gerais Madeni, Brezilya

Cu, Ni, Pb, Zn minerallerinin ergitilmesi işlemi en önemli insan etkenli arsenik kaynaklarıdır. Yıllık 62000 ton arseniğin %80'nin bakır ergitme işlemlerinden kaynaklandığı tahmin edilmektedir (Tablo 2.2). Arsenik antropojenik kaynaklı pestisitler ve katı atıklardan dolayı arazi ya da toprak bünyesinde bulunmaktadır. Buradan, önemli oranlarda hava ve suya karışmaktadır. Çözünmüş arsenik formlarının yeraltı suyuna sızmasıyla ve yüzeysel sulara akımlarla karıştığı bilinmektedir. Akış ve liç yoluyla topraktan arsenik karışımının %19 olduğu tahmin edilmektedir [7];

Çizelge 2.2: 6 maden atığında ölçülen arsenik konsantrasyonları

Maden Türü	Konumu	Konsantrasyon (mg/kg)
Bakır	Murdochville, QC	500
Altın	Musselwhite, ON	63
Bakır-Çinko	Val d'Or, QC	270
Demir	Mont-Wright, QC	<0,70
Kurşun-Çinko	Bathurst, NB	2200
Altın	Marathon, ON	270

Çevreye arsenik veren bir başka antropojenik kaynak ise evlerde ve enerji santrallerinde yakılan fosil yakıtlardır. Termik santrallerin baca külleri toprakta kirlenmeye neden olmaktadır. Yağ yakılmasına bağlı oluşan emisyonların yükü, yakılan kömürün emisyonundan daha düşüktür. Son birkaç yüzyılda arsenik bileşikleri bir çok üretim alanlarında ve ürünlerde kullanılmıştır. Geçmişte, arsenik bileşikleri tabakhanelerde kullanılmıştır. Çevresel arsenik kirlenmesindeki bir diğer antropojenik kaynakta tarım ve ahşap sektöründe arseniğin mantar ilacı, ot, böcek öldürücüler olarak kullanılması olmuştur. Günümüzde arsenik bileşikleri sertlik ve aşınma direncini artırmak için cam imalatında kullanılmaktadır. Bunlara ek olarak yarı iletken (GaAs) ve katalizör üretiminde kullanılırlar. Yer altında madencilik faaliyetleri sonucunda arsenik kirliliği görülen yerler; Tayland, Gana, Zimbabve, Güney Afrika, İngiltere, Yunanistan, Meksika, Kanada ve ABD'dir [10].

2.1.2 Dünya ve Türkiye'deki durum

Günümüzde doğal sulardaki arsenik konsantrasyonu, Küresel bir sorundur. Yüksek konsantrasyonlardaki arsenik son zamanlarda; ABD, Çin, Hindistan, Bangladeş, Tayvan, Meksika, Arjantin, Polonya, Kanada, Macaristan, Japonya ve Hindistan'da gözlenmiştir [5]. Jeolojik kaynaklı, yeraltındaki doğal sularda yüksek konsantrasyonda bulunabilen arsenik Dünya'nın birçok bölgesinde görülmektedir. Son iki yılda yapılan çalışmalar Antartika harici kıtalarda yeraltı sularında ve yerüstü sularında arsenik konsantrasyonunun büyük artış gösterdiği belirlenmiştir. 100 milyondan fazla insan zararlı dozlarda arseniğe maruz kalarak sağlık açısından risk altındadır [17].

Türkiye, Birleşmiş Milletler'in 2006 yılında insani gelişme raporuna göre arsenik konsantrasyonu yüksek olan ülkeler arasında yer almaktadır. MTA'nın araştırmalarına göre, jeolojik yapıya ve kayaç özelliğine bağlı olarak, doğal arsenik riski altında olan

yerler; Kütahya'da Emet, Hisarcık, Doğanlar, Gümüşköy, İğdeköy, Çalcağıl ve çevresi, Balıkesir Balya çevresi, Çanakkale'de Çan, Lapseki, Korudere, Manisa-İzmir Havzası, Eşme-Uşak, Doğu Karadeniz Kuşağı, Nevşehir-Kızılırmak Vadisi, Gölbaşı-Isparta, Kastamonu'da Ahmetköy, Kuzköyü-Küre, Ovalıkköy, Turhal-Tokat, Nevşehir, Madenköy-Niğde, Aksaray, Hasançelebi-Malatya, Elazığ, Divriğ-Sivas, Murgul-Artvin bölgesidir [18].

İzmir Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (İZSU) tarafından yapılan ve birçok basın organında açıklanan sonuçlara göre 2008 yılında μg L^{-1} olarak Göksu'da 59, Sarıkız'da 32, Menemen'de 10 ve Halkapınar'da ise 13 değerleri ölçülmüştür. Kütahya'da Emet ve Hisarcık'ta içme suyu kaynağı olarak kullanılan kaynak ve yeraltı sularında maksimum kirletici seviyesinden daha yüksek seviyede arsenik bulunmuştur. Bu durumun bor oluşumundaki bazı minerallerin çözünmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca Hisarcık bölgesinde de kabul edilebilir limitlerin üzerinde arsenik ölçülmüştür. Bundan başka Bursa ve çevresinde, Balıkesir ve Uşak'ta da yüksek miktarlarda arsenik belirlenmiştir [3], Van yöresinden alınan içme suyu örneklerinin % 96'sında 0,378-14,210 μg L^{-1} arasında arsenik bulunduğu görülmüştür [19], Aksaray yüzey ve yeraltı sularında arsenik miktarları; 1-200 μg L^{-1} arasında değişmektedir. Aksaray ili içme ve kullanma sularının kontrolsüz kullanımının devam etmesi halinde halk sağlığı açısından ciddi riskler oluşacağı düşünülmektedir. [1].

2.1.3 Halk sağlığı etkileri

Yeraltı ve yerüstü kaynaklarının Dünya'nın birçok bölgesinde özellikle inorganik formda arsenik içermesi, zehirlenmelere neden olduğu ve birçok epidemiyoljik araştırma arseniğe maruz kalma ile kanser arasındaki ilişkiyi ortaya koymuştur [11, 20]. Akciğer, mesane, karaciğer, cilt kanserleri, kalp ve damar hastalıkları, diyabet, anemi, nörolojik ve üreme bozuklukları arsenik ile ilişkilendirilebilir [21].

Arsenik sinsi bir zehirdir, ancak ölümcül olması için yüksek oral dozlar gerekmektedir. Gastrointestinal sistemden kan dolaşımına geçer ve hayati organlara zarar verir. Başlıca belirtileri; mide ağrısı, bulantı, kusma, ishal, yorgunluk, anormal kalp ritmi, ellerde ve ayaklarda karıncalanma ve kan damarlarındaki hasar nedeniyle karakteristik morarmadır. İnorganik arseniğe uzun süreli maruziyet; avuç, ayak tabanı ve gövde üzerinde küçük nasır veya siğil oluşumu ile meydana gelen hiperpigmentasyonlu deri

lezyonlarına neden olur. Bu nasırlar zamanla kansere dönüşebilir. Hutchinson 1887'de raporladığı çalışmada arsenik maruziyetine kalan deride tümörlerin alışılmadık derecede arttığını gözlemlemiştir. Doğal olarak oluşan arsenik minerallerinin ve cevherlerinin çözünmesi nedeniyle kirlenen, yeraltı sularına yüksek bir bağımlılığın olduğu birçok yarı kurak alanda büyük bir sorun haline gelmiştir. [11,22].

2.1.4 İçme suyu standartları

ABD'de içme sularında ilk arsenik standardı 50 µg L^{-1} olarak 1942 yılında kabul edilmiştir, 1993'te ise Dünya Sağlık Örgütü (WHO) arseniğin insan sağlığına olan etkilerini, görülme sıklığını, uygun arıtma teknolojilerini, analiz yöntemlerini ve uzun dönemler kullanım sonucu olası kanser risklerini dikkate alarak içme sularında 10 µg As L^{-1} değerini standart olarak kabul etmiştir. WHO'nun ilan ettiği 10 µg L^{-1}'lik limit değeri Japonya, Laos, Moğolistan, Namibya, Suriye, ABD tarafından da ulusal standart olarak kabul edilmiştir. 15 AB ülkesi 1998 yılında 10 µg L^{-1}'yi arsenik için zorunlu standart olarak kabul etmiştir [23, 24]

ABD Ulusal Bilimler Akademisi'nin 1999 yılında yaptığı çalışmalarda o tarihlerde suda arsenik standardı olan 50 µg L^{-1}'nin 1/100 oranında kanser riski taşıdığı sonucuna ulaşmıştır. Teklif edilen 10 µg L^{-1}'lik standartın uygulanması durumunda bu riskin 1/3000-1/5000 aralığında azalacağını rapor etmiştir. İçme sularındaki arsenik için maksimum kirletici düzeyi 50'den 10 µg L^{-1}'e düşünce, içme suyu arıtımında kullanılacak uygulamalar bundan etkilenecektir. Kirli suların arıtımında daha düşük konsantrasyon veren teknolojiler kullanılabilir [11, 23]. Belirlenen bu değer arseniğin zehirliliğine bağlı olarak artan kanserojene dayanarak düşürülmüştür. Birçok ülkede bu değer 10 µg L^{-1} iken Kanada'da bu değer 25 µg L^{-1}'dir. Dünya Sağlık Örgütü'nün belirlemiş olduğu sınır değere birçok gelişmekte olan ülkeler düşürmek istemektedir, hala birçok tesisin yetersiz olmasından dolayı çoğu yerde 50 µg L^{-1}'e göre işlemler yapılmaktadır [9]. Tablo 2.3'de bazı ülke ve bölgelerdeki içme suları için geçerli arsenik standart değerleri verilmiştir [16];

Çizelge 2.3: Arsenik için içme suyu standartları

Su (µg L^{-1})	WHO[a]	ABD[b]	Avrupa[c]	NL[c]	TVO-D[d]	DVGW[d]	TS 266
Arsenik	10	10	50	10-60	10	10-30	10

NL: Yer altı suları için Hollanda standardı,

TVO-D: Alman İçme Suyu Standardı,

DVGW: Alman Yüzey Suyu Standardı.

50 µg L^{-1} limit değerinin geçerli olduğu, sağlıklı içme suyu sisteminden yoksun Bangladeş ve Hindistan gibi ülkelerde 10 µg L^{-1} standardının uygulanmasının henüz mümkün olmadığı belirtilmektedir. Yapılan düzenlemeler ülkemiz özelinde de arsenik kirlenmesine karşın önlemler alınmasını gerekli kılmıştır. Özellikle Batı ve İç Anadolu Bölgesi'ndeki bazı yerleşimlerimizde jeolojik oluşumlara bağlı olarak standardın üzerinde arsenik konsantrasyonları ölçülmüştür [24], Ülkemizde "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmeliği" AB mevzuatına uyumlu olarak hazırlanmış ve 17 Şubat 2005 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Daha önceki yönetmelikte arsenik konsantrasyonu 50 µg L^{-1} olarak kabul edilen değer 10 µg L^{-1}'e çekilmiştir. Ancak 17 Şubat 2005 tarihinde yürürlüğe giren bu yönetmelikte, belediyeler başta olmak üzere ilgili kurumlara bu kıstaslara uyum gayesiyle 3 yıllık geçiş süresi verilmiştir. Bu süre 17 Şubat 2008 tarihinde sona ermiştir. Netice olarak TSE 266 (2005) 98/93 EC (1998) ve WHO (1998) standartlarında arsenik standardı 10 µg L^{-1} olarak kabul edilmiştir [23].

Sulardan Giderim Yöntemleri

Sulardan arsenik giderimi açısından birçok yöntem mevcuttur ve günümüzde faal olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında;

İyon Değişimi; içme sularının arıtılmasında kullanılan ve son yıllarda artarak kabul gören bir su arıtma teknolojisidir. Hem fiziksel hem de kimyasal olarak reçine üzerindeki iyonlar ile su da bulunan iyonların yer değiştirmesi esasına dayanır. İyon değiştirme yönteminde ortamdaki arsenik formu, pH, reçinenin türü ve suyun kimyasal bileşimi önem arz etmektedir [25, 26].

Kireçle Yumuşatma; sulardan sertlik gidermek için kullanılan bu yöntemde, Ca ve Mg'nin giderilmesi için ilave edilen kireç ile beraber bir miktar arsenikte giderilmektedir. Ancak sertlik bulunmayan sular için kireç ilavesi ile arsenik giderimi tavsiye edilmemektedir. Bu yöntemde ortamdaki pH' ve klor varlığı arsenik giderim

verimini etkilemektedir. Oluşan çamur hacmi de bu sistemin olumsuz yönlerindendir [27].

Ozon ile Oksidasyon; Ozon şehir şebeke suyu sistemlerinde, içme sularının dezenfeksiyonu için kullanılan kimyasal su arıtma yöntemidir. Ozonun (O_3) yapısı oksijenden meydana geldiğinden, kullanıldıktan bir süre sonra saf oksijene geri dönüşür. Dezenfektan işleminden sonra, zararlı bakterilerin ve/veya kirleticilerin yan ürünlerini genellikle geride bırakmaz. Arsenik ve çözünebilir formda demir içeren suya ozon ilave edildiğinde arsenik ve demir oksitlenerek ferrik hidroksitler oluşur ve arsenik bu bileşikler tarafından adsorbe edilir. Daha sonra arsenikleri tutan demir hidroksitler filtrasyon sistemi ile sudan giderilir [27].

Membran Prosesler; Yüksek basınç yardımı ile sudaki kirleticilerin, bir seçici membran yardımı ile giderilmesi esasına dayanır. Membranlar sulardan çok sayıda kontaminantları giderme avantajına sahiptirler. Bu sistemler; mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF) ve ters osmoz (RO)'dur [25, 28]. Membranlar ilk olarak 1980'lerde arsenik giderimi için kullanıldığında, yüksek basınçlı ters osmoz (RO)'dan süzülen su %90'dan daha fazla verimle arseniği gidermiştir. Ters osmoza göre daha geçirgen olan ve daha az basınçta çalışan nanofiltrasyonlarında (NF), arsenik gideriminde verimli olduğu tespit edilmiştir [28]. Nanofiltrasyonlarda değişen basınç ve giriş konsantrasyonu membranın geçirgenliğini önemli oranda etkilemektedir[29]. Ters osmoz ve nanofiltrasyon arsenik gideriminde en sık kullanılan membran proseslerdir, bu sistemlerde zardan, ham sudaki kirletici konsantrasyonlarının küçük bir kısmı (% 10-15) süzüntüye geçer.

Demir ve Mangan Oksidasyonu; Yeraltındaki su kaynaklarının demir ve mangan içeriği genelde yüksektir. Bu sulardan demir ve manganın gidermek için uygulanan oksidasyonla oluşan demir ve mangan hidroksitleri üzerinde kompleks oluşumu ve adsorplanması ile arseniğin ortamdan giderilmesi esasına dayanır. Demir oksidasyonu ile giderilmesi mangana göre daha iyi sonuç verir. Bu sistemlerin mekanizması koagülasyon (yumaklaştırma) ve filtrasyonla aynıdır [25, 27, 28].

Aktif alümina ile arsenik gideriminde hem arsenat hem de arsenik için %95'ten daha fazla verim elde edilmiştir. Arsenik pH 5,5'te aktif alüminayla sulardan gideriliebilir. Fosfat ile florür aktif alümina yüzeyinde tutunurlar bu da arsenik giderim verimini düşürür [30, 31]. Pilot çalışmalar arsenik gideriminde; suyun pH değerini, mevcut

iyonlar ve değerlikleri, arsenik formu ve alıkonma süresinin verimi etkilediğini göstermiştir [25].

2.2 Kimyasal Çöktürme

Kimyasal çöktürmenin kimyası son derece karmaşıktır. Bu sistem su ve atık su arıtımında önemli bir yöntemdir. Sudaki katı madde ve kolloidlerin uzaklaştırılması amacıyla kullanılırlar. Tanecikler veya çözünmüş iyonların yardımıyla büyük yumaklar oluşturularak çöktürülmeleri sağlanır, oluşan yumaklar da çökeltme havuzlarında çökeltilirler veya filtrasyon sistemlerinde tutulurlar. Kimyasal madde kullanılmasının amacı taneciklerin yumak oluşturmasını engelleyen yükleri nötralize ederek taneciklerin daha kolay yumak oluşturmasını sağlamaktır [24, 32].

2.2.1 Kullanılan kimyasallar ve uygulamaları

Yaygın olarak kullanılan koagülanların başında demir ile alüminyum tuzları gelmektedir. Koagülanlarda As(V) formunun giderimi, As(III) formuna göre daha iyidir. Bundan dolayı kimyasal çöktürmeden önce As(III) havalandırılarak oksitlenmesi sağlanarak As(V) formuna dönüştürülür [24, 33].

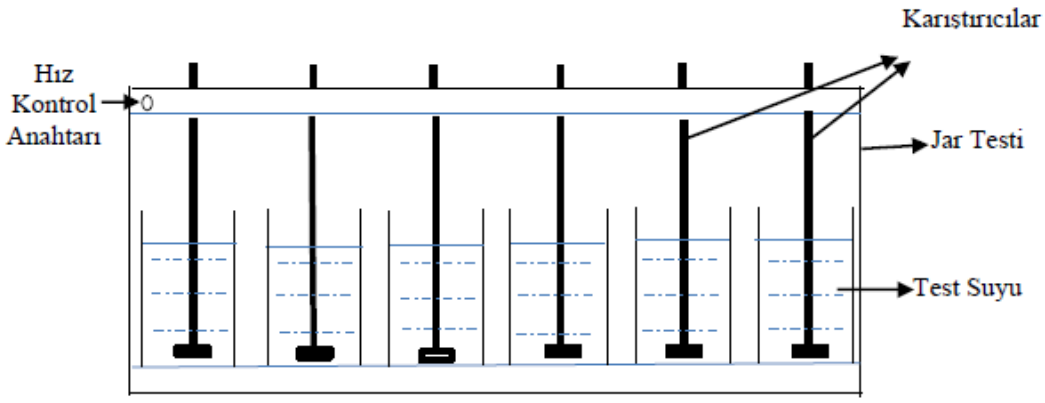
Uygun işletme koşulları altında demir ya da alüminyum tuzları kullanılarak %90 üzerinde arsenik giderimi elde edilmekte ve arsenik konsantrasyonu 1 $\mu g\ L^{-1}$ seviyesinin altına düşmektedir [24]. Alüminyum iyonları için uygun pH aralığı 5-7 iken demir iyonlarında 5-8 arasında olduğu tespit edilmiştir [33]. Alum, demir klorür ve demir sülfatın koagülan olarak kullanıldığı koşullarda As^{5+} gideriminin daha etkili olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, su da As^{3+} formunda bulunması halinde kimyasal çöktürmeden önce oksidasyon yapılması önerilmektedir [33].

Demir klorür ve alüminyum sülfat sık kullanılan kimyasallardandır [34]. Kolloidal tanecikler ilgilerine göre; hidrofob (suyu sevmeyen) ve hidrofil (suyu seven) diye iki guruba ayrılırlar. Sulu ortamlardaki iyonik kuvvet ve pH'a bağlı olarak yükler değişebilir. Tanecikler sahip oldukları yük sebebi ile sıvı fazdaki zıt yüklü iyonları kendine çeker. Bu zıt yüklü iyonlar sıvı fazda tanecik yüzeyine yakın kümelenirler ve sabit bir tabaka meydana getirirler. Taneciklerin pıhtı oluşturmaları zıt yüklü iyonların tanecikleri nötralleştirmeleri ile mümkün olmaktadır. Nötralleşen tanecikler ise birbirleriyle çarpışarak büyürler ve çökerler. Kolloidal taneciklerin yüzeyinde belirli

noktalarda reaksiyona katılan kimyasal guruplar ihtiva ederse, kolloidal kararlılığın bozulmasında tesirli olur [35].

2.2.2 Oluşumu

Kimyasal çöktürme; fiziksel ve kimyasal aşamalardan oluşan bir prosestir. Suya kimyasal eklenerek karıştırma hızları, süre, pH, çökelme süreleri denenerek optimum şartlar belirlenir ve çözünmeyen yumaklar oluşur [36]. Taneciklerin yüzeyindeki yük miktarları taneciklerin karakteristik özelliği açısından çok önemlidir, çünkü süspansiyonun veya emülsiyonun özelliklerini belirlemektedir [37]. Laboratuvar uygulamaları jar testi şeklinde gerçekleştirilir (Şekil 2.5) [38];



Şekil 2.5: Jar testi cihazı

Arıtma tesisinin simülasyonu şeklindedir, gerçekle farklılıklar gösterebilir. Uygulanacak fiziksel ve kimyasal şartların belirlenmesinde kullanılır. Uygulaması; Bütün su örnekleri beherlere eşit şekilde eklenir, koagülan kimyasalları dozlanır, uygulanacak fiziksel ve kimyasal şartlar denenir ve optimum koşullar tespit edilir [39]. Jar testinin amacı suya kimyasallar eklenerek kirleticileri kirleticileri çöktürme esasına dayanır. Tanecik yüzey yükleri kimyasal yardımıyla nötralize edilerek flok oluşumu sağlanır. Suya ilave edilen kimyasalların eşit şekilde dağılması için hızlı karıştırılır. 1940'lı yıllarda geliştirilen DVLO teorisine göre, sudaki taneciklerin kararlılığı toplam enerjisine bağlıdır, aşağıdaki formülde enerji toplamı gösterilmiştir [36];

$$V_T = V_A + V_R + V_S$$

V_A = Van der Waals,

V_R = Çift tabaka yük kuvveti,

V_S = Çözeltinin potansiyel enerjisi.

Taneciklerin yüzey özellikleri ve sudaki reaksiyonları elektriksel yüzeysel yük ile ilgilidir. Suda bulunan taneciklerin yükleri genellikle negatif yüklüdür. Taneciklerin sudaki yük davranışları şu dört mekanizma ile açıklanabilir;

(1) Kaplama hatası veya izomerfik yedek; birçok kil minerallerinin yük davranışlarını açıklamak için kullanılır. (2) Tanecik yüzeyindeki fonksiyonel grupların iyonizasyonu; birçok tanecik yüzeyinde iyonize olan fonksiyonel gurup içermektedir, özellikle mineral oksitler ve biyolojik tanecikler. (3) Yüzeysel fonksiyonel grupların sudaki diğer maddelerle reaksiyonu; birçok katyon (metaller) veya anyonlar (doğal organik maddeler)'in reaksiyonlarını açıklamada kullanılırlar. (4) Taneciklerin yüzeysel özelliklerinin değişimi için kullanılan oksidanlar; birçok tesiste filtre verimliliğini sağlamak için oksidan kullanımı esasına dayanır [40].

Zeta potansiyeli; her tanecikteki yüklerin gücünü göstermektedir. Tanecikler pozitif veya negatif yüklü olabilirler, her tanecik yüküne bağlı olarak aksi yöndeki iyonlarla çevrilirler. Tek tabakalı bir yapı meydana getirirler ve bu tabakanın etrafında da taneciğe bağlı olmayan, hareketli ikinci iyon tabakası meydana gelir. Çift tabakanın dışında da pozitif iyonların negatif iyonlara eşit olduğu nötral bir alan vardır. Taneciğin yüzeyi ile bu nötral bölge arasındaki potansiyel farka zeta potansiyeli denir [41, 42].

Tanecikler üzerindeki yükün bir fonksiyonu olarak, taneciğin göç etme hızı bir ultra mikroskop ile gözlenir. Göç etme yönü ve hızından kolloidal dağılımların zeta potansiyelleri aşağıda verilen eşitlikle hesaplanır [42];

$$\varsigma = \frac{V}{E}\frac{4\pi\eta}{\varepsilon} \times (9 \times 10^4)$$

ς = Zeta potansiyeli, (volt),

V = Göç etme hızı, (cm/sn),

η = Dispersiyon ortamının viskozitesi (polse),

E = Potansiyel farkı (volt/cm).

Dispersiyon ortamısu ve 20^0C'de olduğunda bu eşitlik;

$\varsigma = 141\ \frac{V}{E}$, şeklinde yazılabilir.

Kimyasal çöktürmenin amacı; taneciklerin yüzey yüklerini nötralize ederek itici kuvvetleri van der Waals kuvvetinden daha düşük duruma getirmektir. Zeta

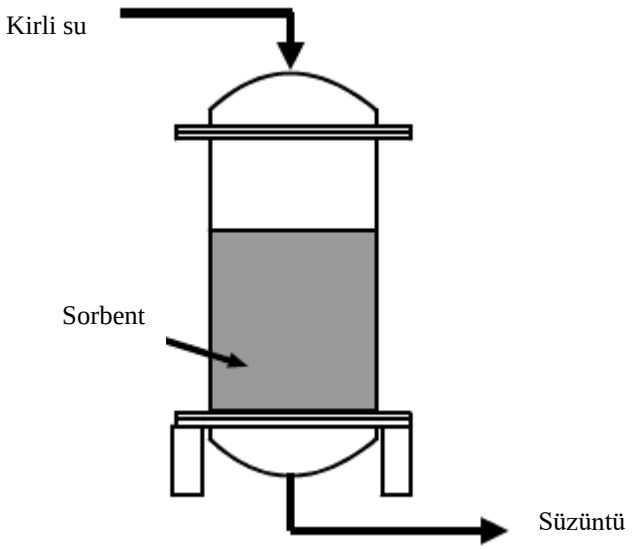
potansiyeli ise her tanecikteki yüklerin gücünü göstermektedir, zeta potansiyelindeki azalma yüzey yüklerinin azalması, yani kararlılık kuvvetlerinin azalmasıdır. Zeta potansiyelinin sıfır olduğu değerlerde ise sistemin izoelektrik noktasında olduğunu gösterir ve bu minimum kararlılığı ifade eder [41].

2.3 Adsorpsiyon

Adsorpsiyonun temeli; suda bulunan kirletici maddelerin katı yüzeyine birikmesi esasına dayanır. Organik ve inorganik formlardaki arsenik, çağlardan beri insan hayatını tehtit etmektedir, bu arsenik tehtidini bertaraf etmek için kullanılan yöntemlerden bir tanesi de adsorpsiyondur. Adsorban ile tutulan maddelerin etkileşimini bilmek için, aralarındaki etkileşim oranını kurmak gereklidir.[43-45]. Adsorpsiyon ön arıtım uygulamasıdır ve genellikle demir açısından zengin materyaller adsorban madde olarak arsenik gideriminde kullanılırlar. Yeraltı suyu arıtımında kullanımı yaygındır ve 50 μg L^{-1} konsantrayonunda arsenik içeren suları 10 μg L^{-1} yasal d Taneciğe tutunmuş sert tabaka nmektedir [11].

Adsorpsiyonla arıtma işlemlerinde sorbent ve kirletici konsantrasyonları, temas süresi, sıcaklık, çözelti pH'ı ve iyon yükleri önemli rol oynamaktadır [46]. Kimyasal adsorpsiyon; elektrostatik, kovalent ve koordine yer değiştirmeleri içerirken, fiziksel adsorpsiyon; van der Waals, hidrojen bağı ve iyon değişimlerini içerir. Yüzeyde tutan maddelerin davranışları; termodinamik, istatistik, mekanik ve matematiksel olarak karışık bir sistemdir. Tipik adsorpsiyon işlemlerinde özellikle arsenat giderim verimi yüksektir ve Langmuir İzotermi'ne uyduğu belirlenmiştir [45, 47].

Adsorpsiyon sistemleri genellikle paket sistem halindedir. Kolonlardan geçen konsantrasyonlu sudaki maddeler adsorplanarak giderilmektedir. Adsorpsiyon kolonları dolduğunda sütunlar ya rejenere edilir ya da değiştirilerek yeni bir kolon kullanılmaya başlanır. Adsorpsiyonla arsenik gideriminde verim; arsenik (III) ve arsenik (V) için farklıdır [11, 48]. Sulu çözeltilerden arsenik gidermek için birçok yöntem denenmekte ve geliştirilmektedir, bunlardan en önemlisi de teknolojiye bağlı gelişen adsorpsiyon sistemleridir. Demir, alüminyum, bakır ve hatta kompleks birçok metal oksitler gibi inorganik adsorbanların, laboratuvar ölçeğinde yapılan araştırmalarda arseniği giderdiği gözlenmiştir ve her geçen gün yeni türler adsorban olarak kullanılabilmektedir [49, 50].



Şekil 2.6: Adsorpsiyon sistemi

2.3.1 Türleri ve izotermleri

Başlıca türleri arasında demir hidroksit [$Fe(OH)_3$] ve götit (FeOOH) çözünmüş formdaki arsenik konsantrasyonunun kontrolünde çok önemli bir rol oynar. Demir hidroksitler As(III) ve As(V)'i çok kısa bir sürede (<5 dk) adsorplama, düşük pH'lı ortamlarda indirgen şartlarda serbest bırakma özelliğine sahip minerallerden birisidir. Diğer arsenik adsorbanlarının bazıları ise; kil mineralleri, alüminyum oksit, mangan oksit ve karbonatlardır. Karbonat minerallerinin arseniği tutması veya birlikte çökelmeleri çok bilinen bir çalışma değildir. Jeotermal kökenli sulardan kalsitler çok düşük konsantrasyonlarda arseniği adsorplasada, çökelim işlemi pH'ı yükselterek tutulan arseniği serbest kalmasına sebep olmaktadır. Bununla beraber çözeltinin karakteristik özelliği, anyonik rekabet ve pH değişkenlerine bağlı olarak kalsit büyük oranlarda As(V) adsorplamakta ve nötral pH civarlarında çözünmüş arseniğin sudan arıtılmasını sağlamaktadır [51].

Langmuir İzotermi; bu modelde tanecik yüzeyinde tek tabaka ile kaplanarak tanecik maksimum konsantrasyonu tutar, bu durum fiziksel ve kimyasal adsorpsiyonu yansıtır [52];

$$q_e = Q_0 b C_e / (1 + b C_e)$$

q_e = Dengede, birim adsorplayıcı başına adsorplanan bileşen miktarı (mg/g),

C_e = Dengede, adsorplanmadan çözeltide kalan bileşen konsantrasyonu (mg L^{-1}),

Q_0 = Langmuir maksimum adsorpsiyon kapasitesi sabiti / tek tabakalı yüzey oluştuğunda oluşan maksimum yüzey yoğunluğu (tek tabaka kapasitesi) / doygunluk sabiti (mg/g),

b = Adsorpsiyon entalpisi ile ilgili sabittir (L/mg).

Langmiur izoterm denklemi aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

- Adsorpsiyon tek tabaka ile kaplamanın ötesine geçmez.
- Bütün adsorpsiyon bölgeleri eşdeğerdir ve yüzey mikroskobik düzeyde mükemmel derecede düzgündür.
- Farklı merkezler üzerinde bağlanmış moleküller arasında hiçbir etkileşme yoktur [53].

Diğer izotermler ise; Freundlich, Brunauer-Emmett-Teller, Tempkin, Redlich-Peterson, Dubinin-Radushkevich İzotermleridir. Adsorpsiyon proseslerinde en yakın izoterm ise Langmuir izotermidir.

2.3.2 Özelliklerini etkileyen parametreler

Sıcaklık; artmasıyla birlikte, yoğunluğa bağlı olarak konsantrasyon adsorban taneciklerin gözeneklerine yönelir ve sınır tabakasından difüzyon oranı artar. Sıcaklıktaki değişim denge kapasitesini değiştirir, genellikle sıcaklıktaki artışa bağlı olarak reaksiyon hızları da artmaktadır. Önemli bir değişken olup adsorpsiyon hızını ve verimini etkilemektedir [54].

pH; çözeltide (zeta potansiyeli) yükü, adsorpsiyon hızını etkileyebilir. Adsorpsiyon, belirli bir pH aralığında optimum değerlere ulaşır. Aynı taneciğin farklı bir adsorban tarafından tutulması durumunda bu pH değeri değişir ve verim etkilenir [55, 56].

Tanecik boyutu; adsorban olarak kullanılan materyallerin boyutları yüzey alanlarına bağlı olarak değişir. Taneciklerin boyutu küçüldükçe yüzey alanları arttığından adsorpsiyon verimide artar. Adsorpsiyon çalışmalarında kullanılan toz adsorbanların kirletici konsantrasyonu tutma hızı büyük taneciklerden daha hızlıdır [54].

Karıştırma; Çözeltide bulunan maddenin adsorpsiyon verimi sadece suda kendisinin bulunduğunda uygulanan adsorpsiyon işleminden daha düşüktür, bunun nedeni diğer maddelerinde adsorban madde yüzeyine tutunmak için rekabet etmesidir [54].

Temas Süresi; adsorpsiyon işleminin başında daha fazla olan yüzey alanı nedeniyle verim daha fazladır, süre ilerledikçe azalan yüzey alanı nedeniyle verim düşer.

Doygunluk değerlerine ulaşıldığında adsorplama dış yüzey yerine taneciğin gözeneklerinde gerçekleşmeye başlar, yüzey alanı çok düşük olduğundan temas süresi arttıkça verim durma noktasına gelir. İç gözeneği bulunmayan adsorban maddelerde adsorpsiyon çok kısa sürede meydana gelir ve bir süre sonra durur, gözenekli taneciklerde ise durma noktası için geçen süre daha fazladır [57].

3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada; Aksaray İli içme suyu kaynaklarından alınan ham sudan su; kimyasal çöktürme, adsorpsiyon ve uçucu kül yöntemleri kullanılarak arsenik giderimi incelenmiştir. Bu yöntemlere etki eden parametreler, avantaj ve dezavantajları araştırılmıştır.

Deneyler; doğal içme suyu ve sentetik sular ile yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda metotlar için optimum şartlar belirlenmiştir.

3.1 Sudaki Arsenik Tayini, Suyun İçeriği Ve Analiz Metotları

Arıtım öncesi ve sonrasında sudaki arsenik derişimi, Aksaray Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Çevresel Analizler ve Ar-Ge Laboratuvarında bulunan ICP-OES (Perkin Elmer marka, Optima 2100 model ICP cihazı) cihazıyla hidrür yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 15 ml tüplere 5 ml numune su konularak üzerine 1 ml hidroklorik asit ilave edilip hızlıca çalkalandıktan sonra üzerine 1ml indirgeme çözeltisi ilave edilir ve yine hızlıca çalkalanır. Ağızları kapalı şekilde 1 saat boyunca karanlık ortamda bekletildikten sonra üzerine 3 ml ultra safsu ilave edilerek 10 ml son hacime tamamlanır ve ağzı kapatılıp hızlı bir şekilde çalkalandıktan sonra 289 nanometre dalga boyunda arsenik okuması gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada kullanılan ham suya ait analiz sonuçları Tablo 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1: Aksaray İli içme suyu kaynakları (hamsu) analiz sonuçları

PARAMETRE (mg/L)	1-ILISU GİRİŞ	2-ILISU ÇIKIŞ	3-IHLARA GİRİŞ	4-IHLARA ÇIKIŞ	5-BELİSIRMA ÇIKIŞ
TOC	5,347	4,690	3,414	3,503	3,709
TN	5,467	5,204	3,625	3,435	3,449
NH_4-N	0,893	0,000	0,000	0,000	0,000
KOİ	17,22	18,21	17,46	16,97	14,97
FLORÜR	0,235	0,239	0,299	0,171	0,190
KLORÜR	9,141	10,57	7,145	9,676	9,769
NİTRİT	0,364	0,350	0,239	0,232	0,251

BROMÜR	0,000	0,000	0,000	0,103	0,000
NİTRAT	20,10	20,09	14,21	13,62	13,94
FOSFAT	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SÜLFAT	56,29	54,75	35,40	32,51	32,38
Ag	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Al	0,175	0,160	0,098	0,101	0,098
As	4,412	5,468	12,36	27,43	31,23
B	0,237	0,248	0,383	0,149	0,130
Ba	0,005	0,049	0,032	0,032	0,032
Be	0,006	0,005	0,005	0,005	0,006
Bi	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	44,89	44,09	33,67	32,87	33,67
Cd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cu	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Fe	0,163	0,135	0,075	0,082	0,078
Ga	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046
Hg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
In	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	2,175	3,344	2,345	2,967	3,012
Li	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002
Mg	12,20	14,10	15,60	17,50	12,60
Mn	0,028	0,020	0,013	0,013	0,012
Na	8,649	10,10	7,798	9,628	9,802
Ni	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Se	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sr	0,077	0,079	0,058	0,064	0,065
Tl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
pH	8,380	8,170	7,550	7,900	7,860
İLETKENLİK	399,0	412,0	315,0	343,0	352,0
ÇÖZÜNMÜŞ OKSİJEN	9,790	9,420	9,400	9,130	9,220
NTU	5,000	8,880	2,840	3,800	4,340
SICAKLIK	8,500	9,400	10,90	11,30	11,40
DEBİ (m3/sn)	0,849	0,563	1,808	1,604	1,910

PARAMETRE (mg/L)	6-YAPRAKHİSAR ÇIKIŞ	7-SELİME GİRİŞ	8-SELİME ÇIKIŞ	9-KIZILKAYA GİRİŞ	10-KIZILKAYA ÇIKIŞ
TOC	4,050	4,139	4,582	5,644	5,279
TN	3,336	3,345	3,248	3,395	3,300
NH_4-N	0,210	0,000	0,000	0,000	0,000
KOİ	11,48	28,19	9,490	10,98	1,770
FLORÜR	0,246	0,301	0,272	0,302	0,297
KLORÜR	58,66	61,54	62,59	62,85	62,70
NİTRİT	0,177	0,160	0,000	0,000	0,000
BROMÜR	0,153	0,146	0,153	0,151	0,146
NİTRAT	13,40	13,45	13,03	12,79	12,54
FOSFAT	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SÜLFAT	31,97	32,01	31,97	31,88	31,69
Ag	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Al	0,094	0,098	0,107	0,119	0,356
As	67,11	65,86	69,21	68,85	66,41
B	0,741	0,697	0,670	0,653	0,648
Ba	0,045	0,046	0,048	0,051	0,059
Be	0,006	0,006	0,005	0,005	0,004
Bi	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	40,88	42,48	44,09	45,69	45,69
Cd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cu	0,005	0,005	0,004	0,005	0,004
Fe	0,079	0,078	0,088	0,098	0,296
Ga	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046
Hg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
In	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	5,282	5,501	5,711	5,796	5,747
Li	0,065	0,068	0,070	0,071	0,070
Mg	14,10	13,10	14,10	11,70	14,60
Mn	0,016	0,016	0,019	0,022	0,036
Na	26,30	27,82	28,16	28,21	28,37
Ni	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Se	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sr	0,159	0,166	0,178	0,179	0,180
Tl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Zn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
pH	7,740	7,830	8,040	8,140	8,260
İLETKENLİK	572,0	581,0	598,0	600,0	603,0
ÇÖZÜNMÜŞ OKSİJEN	9,170	9,100	9,390	9,370	9,350
NTU	5,700	5,010	4,950	7,570	9,100
SICAKLIK	11,80	11,90	11,40	11,20	10,50
DEBİ (m3/sn)	1,823	2,160	1,025	3,056	2,310
PARAMETRE (mg/L)	**11-GÜLPINAR GİRİŞ**	**12-G.PINAR ÇIKIŞ**	**13-GÜLAĞAÇ GİRİŞ**	**14-G.AĞAÇ ÇIKIŞ**	**15-DEMİRCİ GİRİŞ**
TOC	31,69	32,51	45,55	55,05	31,09
TN	3,321	2,492	2,775	2,521	2,399
NH4-N	0,000	0,384	0,000	0,252	0,000
KOİ	7,250	13,23	16,97	0,270	2,500
FLORÜR	0,384	0,410	0,498	0,398	0,394
KLORÜR	29,78	32,42	30,50	29,94	31,60
NİTRİT	0,000	0,257	0,286	0,242	0,213
BROMÜR	0,205	0,155	0,154	0,152	0,157
NİTRAT	14,11	7,299	10,27	9,006	8,284
FOSFAT	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SÜLFAT	12,75	13,89	13,85	14,38	16,33
Ag	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Al	0,005	0,004	0,014	0,047	0,039
As	16,53	15,04	11,34	11,50	11,88
B	0,484	0,528	0,387	0,401	0,470
Ba	0,027	0,036	0,042	0,043	0,050
Be	0,004	0,005	0,004	0,004	0,004
Bi	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	56,11	22,44	20,04	36,07	28,86
Cd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cu	0,004	0,005	0,004	0,004	0,005
Fe	0,000	0,040	0,010	0,047	0,035
Ga	0,045	0,045	0,046	0,045	0,045
Hg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
In	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	4,482	5,287	6,073	5,012	5,565
Li	0,029	0,039	0,026	0,029	0,039

Mg	26,70	55,40	55,40	49,60	48,60
Mn	0,002	0,067	0,015	0,013	0,007
Na	24,25	27,12	23,44	24,27	25,50
Ni	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Se	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sr	0,135	0,160	0,157	0,163	0,170
Tl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
pH	6,450	7,070	7,550	7,660	7,890
İLETKENLİK	555,0	501,0	504,0	486,0	490,0
ÇÖZÜNMÜŞ OKSİJEN	6,350	5,890	7,790	8,120	8,650
NTU	0,240	1,480	1,610	4,870	2,090
SICAKLIK	19,50	10,70	11,30	10,50	10,00
DEBİ (m3/sn)	0,380	0,790	1,200	1,500	1,110
PARAMETRE (mg/L)	**16-DEMİRCİ ÇIKIŞ**	**17-KARASU**	**BARAJ YÜZEY**	**BARAJ ORTA**	**BARAJ DİP**
TOC	31,76	31,22	17,45	17,31	17,43
TN	3,164	3,135	1,981	1,956	1,899
NH4-N	0,000	0,000	1,601	0,761	0,699
KOİ	15,23	0,000	-	-	-
FLORÜR	0,410	0,416	0,168	0,278	0,294
KLORÜR	35,35	38,15	36,47	47,21	53,72
NİTRİT	0,262	0,264	0,250	0,375	0,250
BROMÜR	0,161	0,165	0,170	0,220	0,160
NİTRAT	11,48	10,80	2,057	2,374	2,489
FOSFAT	0,000	0,000	-	-	-
SÜLFAT	22,10	22,90	15,12	19,39	21,71
Ag	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Al	0,072	0,106	0,039	0,000	0,000
As	11,97	11,76	56,47	56,18	57,01
B	0,528	0,574	0,003	0,346	2,224
Ba	0,067	0,071	0,065	0,065	0,066
Be	0,004	0,005	0,010	0,010	0,007
Bi	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	20,84	12,83	41,68	36,07	29,66
Cd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cu	0,005	0,005	0,005	0,006	0,005
Fe	0,051	0,092	0,000	0,000	0,000
Ga	0,045	0,044	0,052	0,046	0,045
Hg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
In	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	6,268	6,315	7,345	5,856	6,089
Li	0,047	0,049	0,055	0,058	0,063
Mg	51,50	54,90	23,80	24,80	28,20
Mn	0,016	0,018	0,002	0,002	0,010
Na	27,18	28,29	28,12	28,91	29,77
Ni	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Se	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sr	0,195	0,205	0,161	0,171	0,178
Tl	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Zn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
pH	7,840	8,050	8,630	8,600	8,610
İLETKENLİK	544,0	524,0	658,0	653,0	659,0
ÇÖZÜNMÜŞ OKSİJEN	8,700	8,380	9,110	8,670	8,660
NTU	4,490	12,79	3,600	2,550	14,40
SICAKLIK	11,60	10,00	9,900	9,600	9,300
DEBİ (m3/sn)	1,500	1,200			

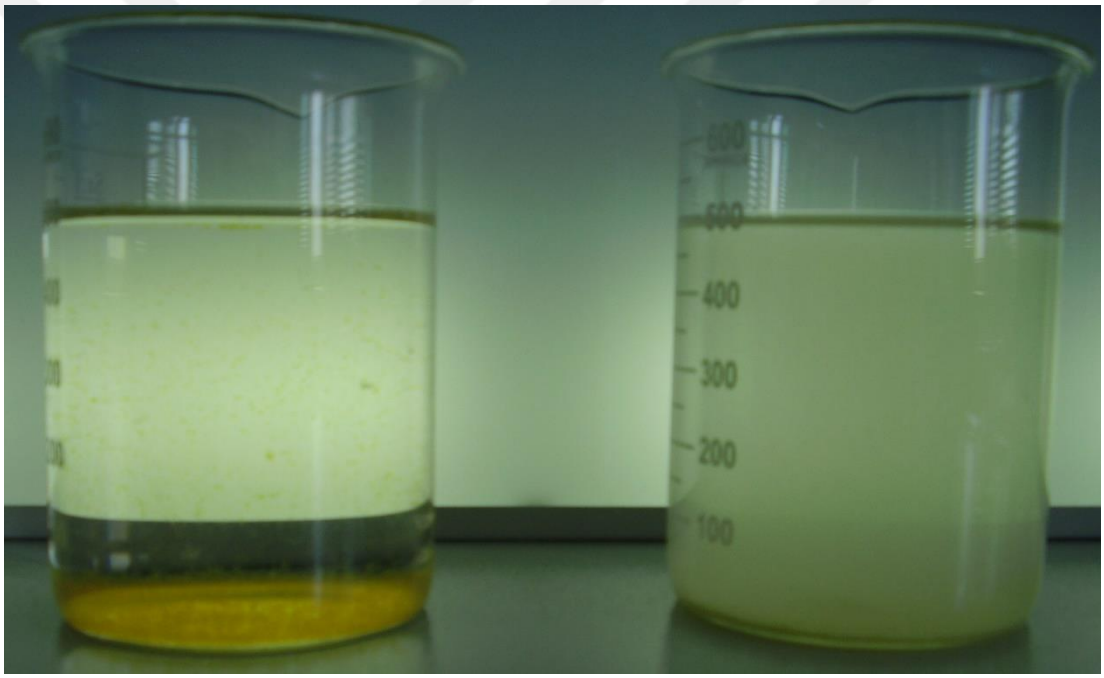
3.2 Kimyasal Çöktürme

Arseniğin demire olan ilgisinden dolayı, belirli derişimde As içeren ham su numunesine belirli dozlarda demir tuzları ($FeCl_3$, $FeSO_4$) uygulanmıştır. Ferroz demir ile yapılan çalışmalarda uygun çökelme şartlarının sağlanması açısından sönmüş kireç ilavesi de yapılmıştır. Kimyasal çöktürme çalışmalarında, arsenik içeren ham su numunelerine belli sürelerde hızlı (75 s, 150 dv/dk) ve yavaş (60 s, 45 dv/dk) karıştırma işlemleri uygulanmış, durultma işlemi için beklendikten sonra (30 dk) süpernatent kısımdan örnekler alınarak analizler yapılmıştır.

Bu yöntemde amaç suya ilave edilen arseniğin demir içerikli bileşiklere hızlı karıştırma ile bağlanarak çökelek oluşturmasını sağlayarak yavaş karıştırma yöntemi

ve çökelme süresiyle dibe çökmesini sağlamaktır. Çökelme işleminden sonra üzerinde kalan süzüntü temiz su kullanıma sunulur. Bu çalışmada da yasal standartları sağlayacak düzeyde maliyeti en düşük şekilde giderim için gerekli bileşik miktarları, karıştırma hızları ve süreleri, çökelme süreleri, yardımcı koagülant miktarları incelenmiştir. Kimyasal çöktürme işlemi için 600 ml'lik beherlere içme suyu kaynağından alınan sudan 500 ml alınarak çalışılacak parametrelerde jar testi cihazında karıştırma işlemleri yapılmıştır. Çökelme işlemlerinden sonra süzüntü kısmından alınan su numunelerinde ICP cihazında hidrür yöntemi ile arsenik analizi gerçekleştirilmiştir.

Ferrik demir için $FeCl_3$, ferroz demir için $FeSO_4$ kullanılarak 1 mg/ml derişime sahip stok çözeltiler hazırlanmış ve kullanılmıştır.

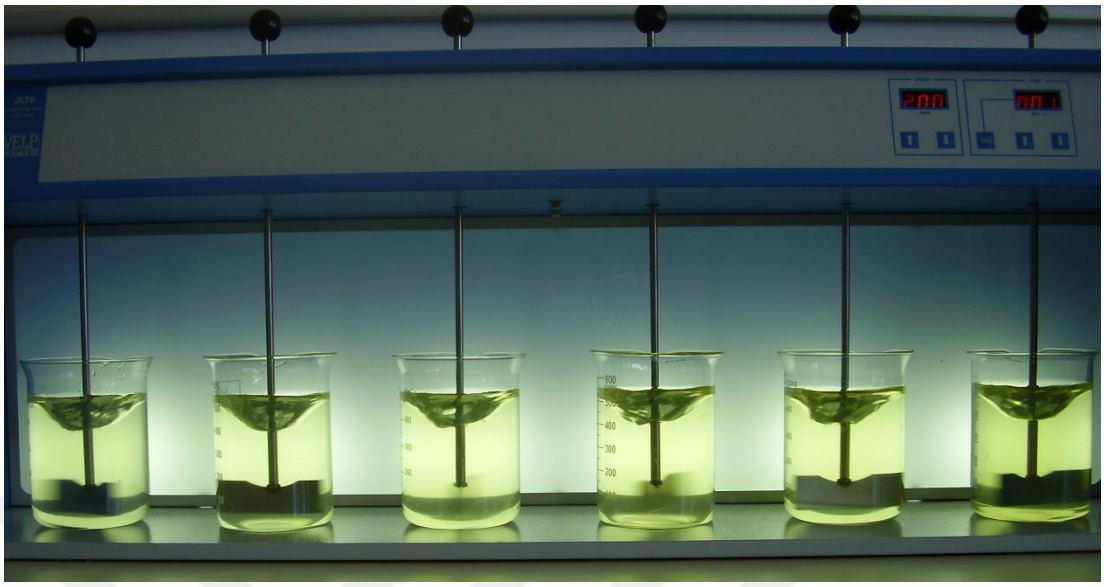


Şekil 3.1: İstenilen verimlerde demir klorür ve demir sülfat çalışması

Stok çözeltide 1 gr Fe (demir) olacak şekilde $FeCl_3 6H_2O$ bileşiği olan hazır kitten 4,84 gr L^{-1} alınarak ultra safsu ile 1 L'ye tamamlanarak stok çözelti hazır hale getirilmiştir. Yapılan çalışmaların tamamında hazırlanan bu stok çözelti kullanılmıştır.

Demir klorür çalışmasında sırasıyla kullanılan doz miktarı, hızlı karıştırma hız ve süre, yavaş karıştırma hız ve süre çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalarda amaç yasal sınırlar içerisinde en ucuz maliyeti veren parametreler olmuştur. Yapılan çalışmalar sonucunda çökeleklerin çökelme işlemlerinden sonra üst kısımdaki arıtılan

sudan alınan numuneler süzülerek arsenik, pH, iletkenlik, bulanıklık ölçülmüş oluşan çamur hacimleri ve arsenik giderim verimleri hesaplanmıştır.



Şekil 3.2: Demir klorür jar testi

Stok çözeltide 1 gr Fe (demir) olacak şekilde $FeSO_4.7H_2O$ bileşiği olan hazır kitten 4,98 gr alınarak ultra saf su ile 1 L'ye tamamlanarak stok çözelti hazır hale getirilmiştir. Yapılan çalışmaların tamamında, hazırlanan bu stok çözelti kullanılmıştır.

Yapılan bu çalışmada demir sülfata yardımcı olarak kireçte kullanılmıştır. Kirecin kullanılma nedeni demir sülfatın arseniği gidermedeki verimini artırmaktır. Sırasıyla demir sülfat ve kireç doz miktarları, hızlı karıştırma süre ve hızları, yavaş karıştırma süre ve hızları incelenmiştir. Yapılan çalışmalardaki amaç kimyasal çöktürmede demir sülfat ve ilaveten kirecin içme suyu kaynağındaki arseniği giderme verimlerini incelemektir. Yasal sınır değerlerine ulaşmada en az maliyet koşulları incelenmiştir. Yapılan jar testleri sonucunda çökeleklerin oluşup çökmesinin ardından üst kısımdaki arıtılan kısımdan alınan numuneler süzülerek; arsenik, pH, iletkenlik, bulanıklık ölçülmüş, oluşan çamur hacimleri ve arsenik giderim verimleri hesaplanmıştır.



Şekil 3.3: Demir sülfat jar testi

3.3 Adsorpsiyon (Pomza, Tüf, Zeolit)

Çalışmanın bu bölümünde Aksaray ili içme suyu arıtma tesisi girişinden alınan ham içme suyu numunelerine, çoğunluğu Aksaray ili civarında bulanan arazilerden temin edilmiş pomza, tüf ve zeolitlerin adsorban madde olarak kullanıldığı adsorpsiyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Topakkaya, ve Doğantarla bölgesinden pomzaları, Belisırma (Aksaray) bölgesi tüfü, Bigadiç (Balıkesir) bölgesi zeoliti ile Aksaray bölgesi pomzanın demir kaplanmış biçimi kullanılmıştır. Doğal materyallere herhangi bir ön işlem uygulanmamıştır. Pomzaların yıkama ön işleminden sonra kullanıldığı deneyler de gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışmalarda adsorban madde türleri ve miktarlarına göre, 250 ml'lik erlenlerde 100 ml hacminde örnekler ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar iki tekrarlı yapılmıştır. Çalkalama hızı (200 dv/dk), süresi (60 dk), adsorban madde miktar (1 gr), arsenik, pH, iletkenlik, bulanıklık ve çökelme süreleri incelenmiştir. Çalkalama işlemlerinden sonra örnekler analizleri yapmak üzere adi filtre kağıdından süzülmüştür. Kullanılan adsorban madde türleri ile arsenik değerlerinin 10 $\mu g\ L^{-1}$ değerinin altına düşürülmesi hedeflenmiştir.



Şekil 3.4: ICP cihazı

3.4 Uçucu Kül

Çalışmanın bu kısmında atık bir malzeme olan uçucu kül (Elbistan Termik Santrali) ile arsenik giderimi denemeleri yapılmıştır. Siyah renkli ve toz şeklindeki uçucu kül arsenik dahil birçok kirleticinin arıtılması amacıyla kullanılmıştır. Atık bir materyalin arıtım çalışmalarında kullanılması ve uygulamaya aktarılması maliyet açısından önemli konudur. Çalışmanın bu bölümünde uçucu kül ile ham sudan arsenik giderimi, arıtma sonrası materyalin ve su ortamının durumu araştırılmıştır.

3.4.1 İçeriği

Kahramanmaraş Elbistan'daki linyit kömürü ile çalışan termik santralin uçucu kül materyalinin bileşiminin ortaya koyulabilmesi için sindirme işlemine tabi tutulmuştur. Uçucu külün yapısında yüksek miktarlarda demir, alüminyum, kalsiyum, sodyum ve arsenik tespit edilmiştir (Tablo 3.2), literatür ile örtüştüğü görülmüştür. Birçok ağır metali bünyesinde bulunduran uçucu kül hem ön işlem uygulamadan hem de yıkama ön işlemi yapıldıktan sonra giderim deneylerinde kullanılmıştır. Yıkama ön işlemine tabi tutulan uçucu külün çözünerek kütlesinin azaldığı tespit edilmiştir. Uçucu kül suya ilave edildiğinde ortam pH değeri 11'e kadar çıkardığı; pH değerinin 3 ve altına indirildiği durumlarda ise hızla çözündüğü yapılan çalışmalarda görülmüştür. pH değerinin 3'ün üzerinde olduğu durumlarda pH 11 seviyelerine geldiği gözlenmiştir.

Çizelge 3.2: Sindirilmiş Uçucu Kül İçereiği

	SİNDİRME	
ARSENİK (µg L^{-1})	2270	
TOC (mg L^{-1})	527,75	
TN (mg L^{-1})	31023,4	
AĞIR METALLER	(mg/L)	(gr/kg)
Zn	0,02	0,00048
Fe	0,84	0,02016
Mn	0,002	0,000048
Cr	0,009	0,000216
Ag	0	0
Al	1,137	0,027288
Ga	0,002	0,000048
Li	0,006	0,000144
Pb	0,003	0,000072
Bi	0,02	0,00048
Ni	0	0
Cu	0,006	0,000144
In	0	0
Cd	0	0
Co	0	0
Ba	0,008	0,000192
Be	0	0
Hg	0,004	0,000096
Se	0,004	0,000096
Sr	0,008	0,000192
Ca	3,614	0,086736
Mg	0,054	0,001296
Na	22,12	0,53088
K	0	0
B	0,038	0,000912
ANYON-KATYON (mg/L)		
Florür	245,25	5,886
Fosfat	108	2,592
Sülfat	4856,5	116,556

3.4.2 Sudaki durumu ve suya etkisi

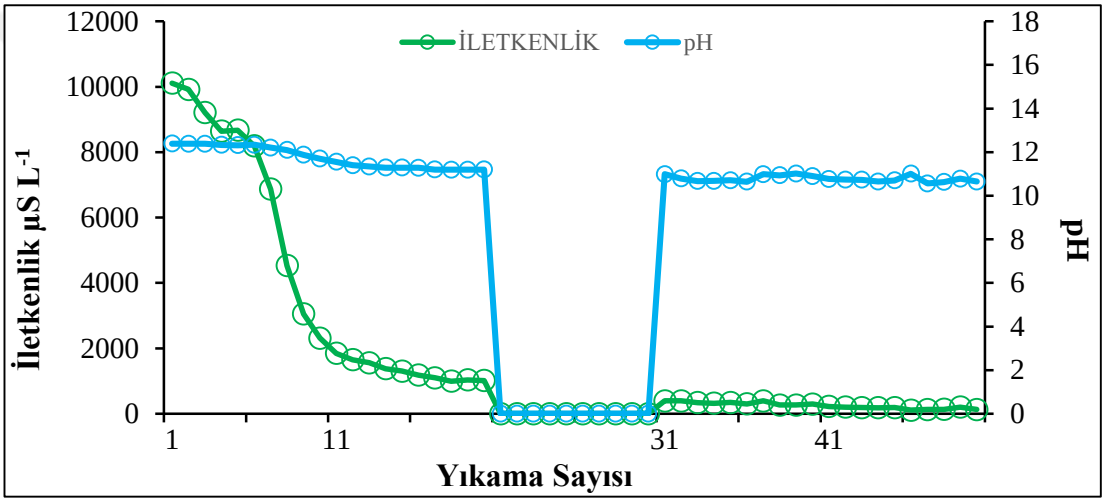
Yapılan çalışmalarda arsenik içeren ham suya ilave edilen uçucu külün; suya karıştığı anda ortam pH değerini 11 seviyelerine çıkarttığı ve iletkenliği 2-2,5 kat yükselttiği tespit edilmiştir. Çalkalama işlemi bittikten sonra yaklaşık bir dakika içerisinde tamamının çökeldiği görülmüştür. Etüvde kurutulduktan sonra hassas terazi ile tartılıp kullanılan uçucu külün, süzme işleminden sonra tekrar kurutularak tartılması sonucunda yıkama işlemiyle yaklaşık %5 kütle kaybına uğradığı bulunmuştur.

Uçucu külün ham suya ilavesinin ardından yaklaşık bir dakika çalkalama süresi ile arseniği giderdiği tespit edilmiştir. Adsorpsiyon çalışmalarına göre çok kısa olan bu sürede, arseniğin yüzeyde tutunma yerine uçucu külün yapısındaki demirli bileşiklere hücum ederek yeni bileşikler oluşturduğu belirlenmiştir. Suya olan bir diğer etkide uçucu kül çekirdeklerin yüzeyinde bulunan katman katman hidroksit tabakasının süreye ve çalkalama hızına bağlı olarak suya geçmesidir. Suya ilavesinden hemen sonra suyun pH değerini 11 seviyesine çıkarmaktadır. Sürekli yıkama işleminden geçirilen uçucu kül aynı özellikleri göstermeye devam etmiştir. Yıkama aralarında yapılan kurutma ile tartma işlemleri, uçucu külün uzun süreli yıkamayla, çalkalama işlemleri sonucu çözünerek kütle kaybına uğradığı tespit edilmiştir. Tablo 3.3'de uçucu kül yıkama ortamının pH ve iletkenlik değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.3: Uçucu kül yıkama ortamı

Yıkama	pH	İLETKENLİK (µS L^{-1})	Yıkama	pH	İLETKENLİK (µS L^{-1})
1	12,39	10110	**26**	11,16	827
2	12,38	9920	**27**	11,21	1036
3	12,38	9210	**28**	11,06	773
4	12,33	8640	**29**	11,03	706
5	12,32	8670	**30**	10,97	425
6	12,34	8190	**31**	10,99	394
7	12,21	6870	**32**	10,79	394
8	12,10	4530	**33**	10,67	339
9	11,88	3050	**34**	10,68	321
10	11,70	2310	**35**	10,71	344
11	11,55	1848	**36**	10,64	300
12	11,40	1651	**37**	10,99	392
13	11,34	1560	**38**	10,94	264
14	11,29	1377	**39**	11,02	266

15	11,29	1305	**40**	10,90	294
16	11,28	1180	41	10,77	221
17	11,20	1100	**42**	10,74	203
18	11,19	997	**43**	10,73	186
19	11,19	1033	**44**	10,65	184
20	11,20	1017	**45**	10,70	187
21	11,19	921	**46**	11,01	109
22	11,17	899	**47**	10,56	128
23	11,16	927	**48**	10,63	134
24	11,13	894	**49**	10,78	203
25	11,16	854	**50**	10,65	130



Şekil 3.5: Uçucu kül yıkama ortamının özelliği

3.4.3 Arsenik gideriminde kullanılması

Çalışmanın bu bölümünde; uçucu kül, belirli miktarlarda suya ilave edilmiş, çalkalanmış ve süzüldükten sonra ortamdan arsenik giderimi incelenmiştir. Düşük miktarlarda bile arseniği giderdiği belirlenmiştir. Çalkalama işleminden sonra çökelmesi için beklenen sürede tamamının çökeldiği gözlenmiştir. Dibe çöken uçucu küllerin tamamına yakınını adi filtre kağıdı ile süzmek mümkün olmaktadır. Süzüldükten sonra analiz için alınan su, hidrür yöntemi kullanılarak arsenik analizi yapılmıştır. Uçucu külün bu yöntemler sonrasında arseniği tutma veriminin yüzde doksanların üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

Miktar çalışmalarından sonra arıtım süresi üzerinde durulmuş ve çok kısa bir sürede arseniği su ortamından giderdiği tespit edilmiştir. Daha sonra çok kısa sürede

gerçekleşen arsenik giderim mekanizmasının belirlenmesi yönünde çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar ve literatür araştırmasına dayanan bilgilerden, uçucu külün yapısındaki yüksek orandaki demirli bileşenlerin arsenik gideriminde aktif rol oynadığı, bu işlemin çözünme-iyonik adsorpsiyon mekanizmasıyla gerçekleştiği öne sürülmüştür.

Farklı pH değerlerine ayarlanan sulardan düşük pH değerine sahip olanlarda (<2,5) uçucu külün daha hızlı bir şekilde çözünme yoluyla kütle kaybına uğradığı ve bu sebeple bünyesindeki arseniğide ortama verdiği tespit edilmiştir. Ortam pH değerinin 2,5'dan büyük olduğu durumlarda %90'ın üzerinde arsenik giderimi gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Uçucu külün atık materyal olması, yanma işlemi sonrası sürekli oluşması ve üretimi için maliyet oluşturmaması nedeni ile arsenik gideriminde kullanılabilir materyal olabileceği yapılan çalışmalar ışığında ifade edilebilir, ancak çözünerek kütle kaybına uğraması, ortam pH değerinin değişmesi, farklı maddeleri ortama vermesi gibi özelliklere çok dikkat edilmesi gerekmektedir.

3.4.4 Yıkanmış ve yıkanmamış uçucu küllerin verimi

Uçucu külün bulunduğu ortama çeşitli iyonları vermesi ve arseniği tutmasında bünyesinde iyonlaşabilir maddelerin ne kadar etkin olduğunun ortaya koyulabilmesi için yıkama işlemine tabi tutulmuştur. Yıkama işleminden sonra kurutulan uçucu kül, arsenik içeren ham suya ilave edilmiş ve çalkalama gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırma yapılabilmesi için aynı çalışmalar herhangi bir yıkama işlemine tabi tutulmayan uçucu kül ile de gerçekleştirilmiştir. Yıkanmamış uçucu kül yaklaşık % 95 arsenik giderimi gerçekleştirirken, yıkanmış uçucu külün arseniği gidermediğini, bunun yanında bünyesinde bulunan arseniği belirli oranda ortama verdiği tespit edilmiştir.

3.4.5 Giderimde kullanılan uçucu külün geri kazanılması

Arsenik giderim çalışmalarında kullanılan uçucu küller, etüvde kurutulduktan sonra tekrar arsenik giderimi ham suya ilave edilmiştir. Elde edilen sonuçlar; kurutma işlemine tabi tutulan uçucu küllerin arsenik tutma özelliğini kaybettiğini, aksine suya arsenik verme eğiliminde olduğunu göstermiştir. Dolayısıyla uçucu külün sadece bir kez kullanılabileceğini, tekrarlı kullanımın arsenik gideriminde sıkıntı oluşturacağı tespit edilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

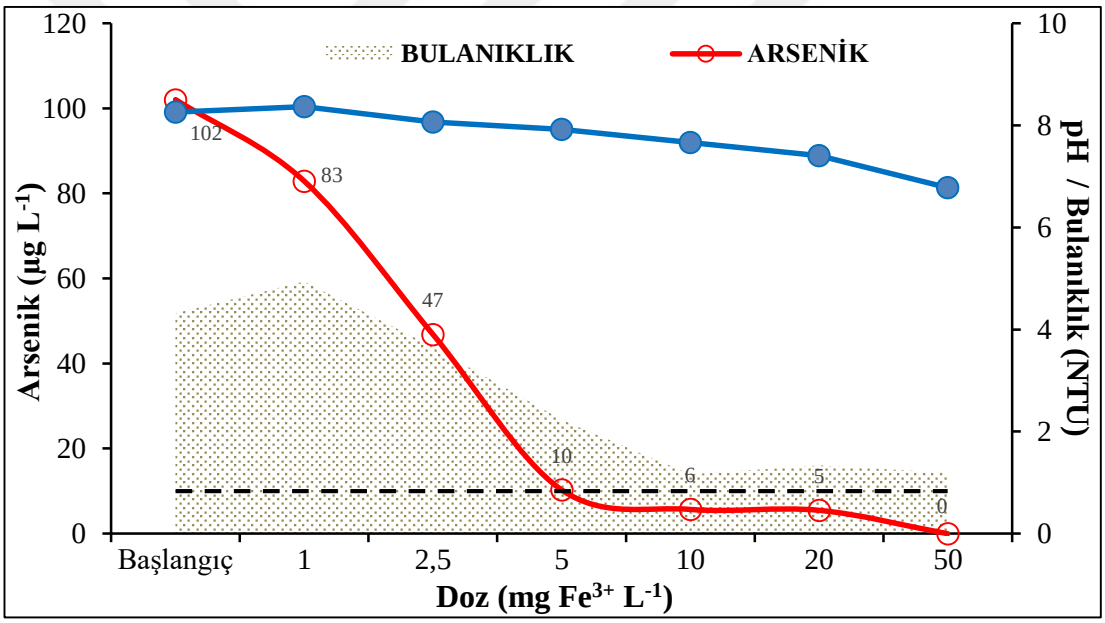
Bu çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar, detaylı bir şekilde aşağıda tablo ve grafiklerle detaylı olarak değerlendirilmiştir. Kimyasal çöktürme, adsorpsiyon ve uçucu kül ile gerçekleştirilen, içme suyundan arsenik giderim işlemlerine ait yüzde verimler, pH, iletkenlik, bulanıklık ve bazı çalışmalarda ağır metaller ile anyon katyon sonuçları belirlenmiştir.

Yapılan laboratuvar çalışmaları, giderim yöntemlerinin verimleri, maliyetleri ve arıtma süreleri hakkında önemli bilgiler vermiştir.

4.1 Demir Klorür

Çizelge 4.1: Geniş aralık demir klorür doz çalışması (Hızlı karıştırma 2 dk, 200 dv/dk, yavaş karıştırma 5 dk, 30 dv/dk ve çökelme süresi 30 dk)

PARAMETRE	GİRİŞ	DOZ (mg Fe^{3+} L^{-1})					
	Başlangıç	1	2,5	5	10	20	50
pH	8,26	8,37	8,07	7,92	7,67	7,41	6,78
İLETKENLİK (µS/cm)	482	488	492	495	500	509	555
BULANIKLIK (NTU)	4,32	4,94	3,66	2,23	1,16	1,34	1,19
ÇAMUR HACMİ (cm^3)	0,00	0,00	0,00	28,35	28,35	56,71	198,47
ARSENİK (µg L^{-1})	102,03	82,87	46,85	10,31	5,71	5,50	0,00
% VERİM	-	18,78	54,08	89,90	94,41	94,61	100,00
YASAL SINIR (µg L^{-1})	10						

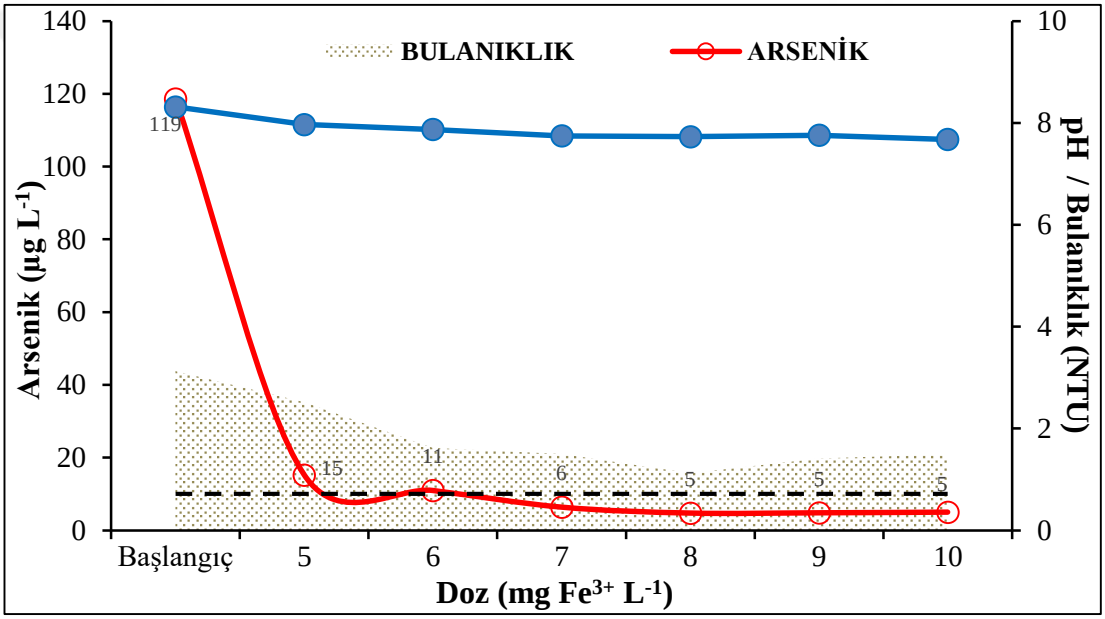


Şekil 7: Doz çalışması verim ve bulanıklık grafiği

Tablo 4.1'de sonuçları verilen demir klorür ($FeCl_3$) geniş aralık doz belirleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışmaya başlama kinetik değerleri ve çökelme süreleri ışığında, optimum verimi sağlayan doz aralığının 5-10 µg L^{-1} aralığında olduğu bulunmuştur (Şekil 4.1). Daha sonra bu aralıkta gerçekleştirilen dar aralık doz belirleme çalışmalarına geçilmiştir.

Çizelge 4.2: Dar aralık demir klorür doz çalışması (Hızlı karıştırma 2 dk, 200 dv/dk, yavaş karıştırma 5 dk, 30 dv/dk ve çökelme süresi 30 dk)

PARAMETRE	GİRİŞ	DOZ (mg Fe^{3+} L^{-1})					
	Başlangıç	5	6	7	8	9	10
pH	8,31	7,97	7,87	7,75	7,73	7,76	7,68
İLETKENLİK (µS/cm)	466	482	485	484	486	485	488
BULANIKLIK (NTU)	3,13	2,52	1,62	1,50	1,12	1,41	1,49
ÇAMUR HACMİ (cm^3)	0,00	28,35	28,35	28,35	56,71	56,71	56,71
ARSENİK (µg L^{-1})	118,60	15,22	10,93	6,35	4,73	4,80	4,98
% VERİM	-	87,17	90,78	94,64	96,01	95,95	95,80
YASAL SINIR (µg L^{-1})	10						

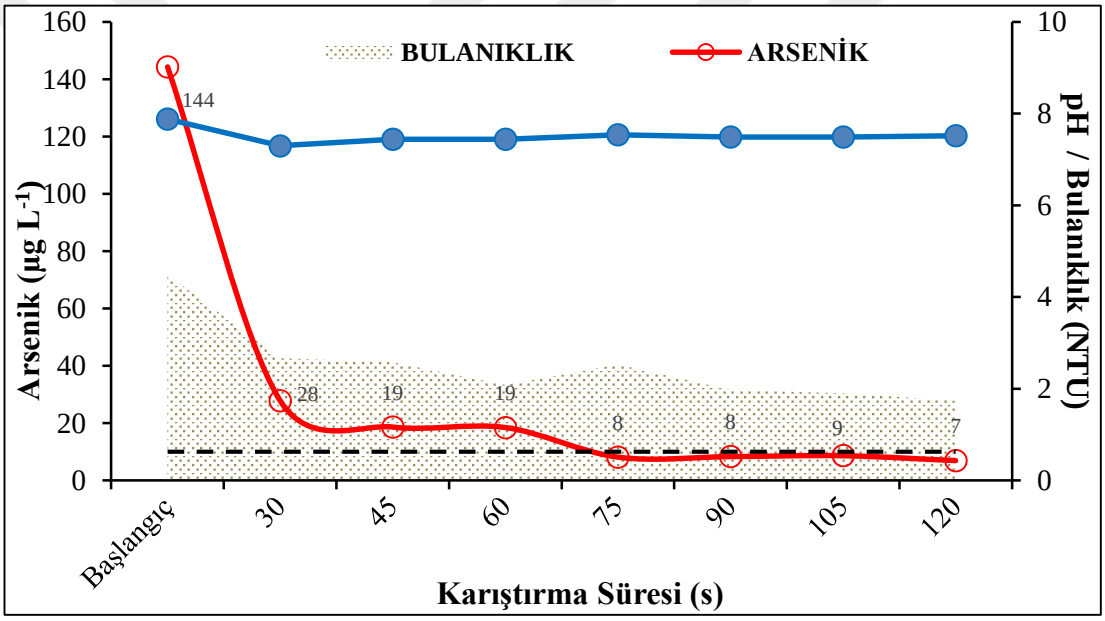


Şekil 8: Doz çalışması ve bulanıklık grafiği

Tablo 4.2'deki sonuçları verilen çalışmalara göre arsenik gideriminde optimum verimi sağlayan demir klorür ($FeCl_3$) dozunun 7 mg L^{-1} olduğu (Şekil 4.2), bu konsantrasyondaki bulanıklık değerinin 2 NTU'nun altında olduğu bulunmuştur. Çalışmaların bundan sonraki aşamalarında giderim için kullanılacak demir klorür ($FeCl_3$) konsantrasyonu 7 mg L^{-1} olarak belirlenmiştir. Kullanılacak dozun belirlenmesinden sonra kinetik çalışmalara başlanmıştır.

Çizelge 4.3: Demir klorür hızlı karıştırma süre çalışması (yavaş karıştırma 5 dk, 30 dv/dk, çökelme süresi 30 dk)

PARAMETRE	GİRİŞ	HIZLI KARIŞTIRMA SÜRESİ (s)						
	Başlangıç	30	45	60	75	90	105	120
pH	7,88	7,30	7,44	7,44	7,54	7,49	7,49	7,52
İLETKENLİK (µS/cm)	500	517	517	517	502	514	518	518
BULANIKLIK (NTU)	4,49	2,67	2,58	2,08	2,53	1,98	1,90	1,74
ÇAMUR HACMİ (cm^3)	0,00	85,06	85,06	85,06	85,06	85,06	85,06	85,06
ARSENİK (µg L^{-1})	144,28	27,89	18,69	18,52	8,20	8,38	8,69	6,99
% VERİM	-	80,67	87,04	87,16	94,31	94,19	93,98	95,16
YASAL SINIR (µg L^{-1})	10							

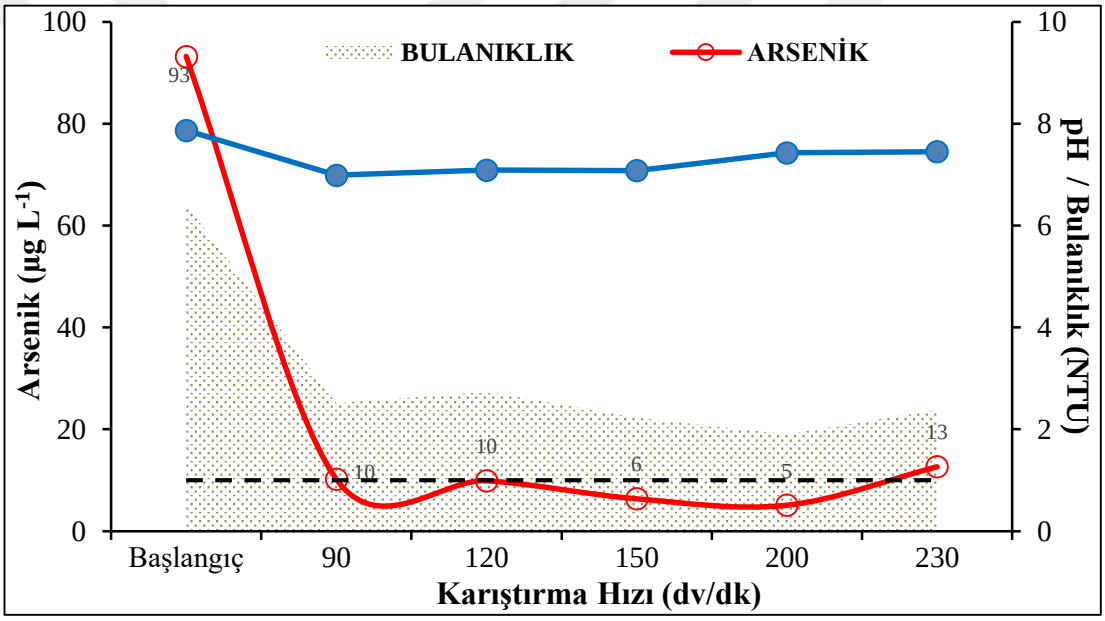


Şekil 9: Demir klorür hızlı karıştırma süre grafiği

Tablo 4.3'te sonuçları verilen çalışmada;7 mg L^{-1} demir klorür kullanılarak başlatılan kinetik çalışmalarda öncelik hızlı karıştırma sürelerine verilmiştir. 30-120 s aralığında yürütülen çalışmalar optimum sürenin 75 s olduğunu belirlemiştir (Şekil 4.3). Bundan sonra yapılan demir klorür çalışmalarında hızlı karıştırma süresi 75 s olarak kabul edilmiştir. Bu çalışmanın ardından bir diğer kinetik çalışma; hızlı karıştırma hız belirleme çalışmasına geçilmiştir.

Çizelge 4.4: Demir klorür hızlı karıştırma hız çalışması (yavaş karıştırma 5 dk, 30 dv/dk, çökelme süresi 30 dk)

PARAMETRE	GİRİŞ	HIZ (dv/dk)				
	Başlangıç	90	120	150	200	230
pH	7,87	6,99	7,09	7,08	7,43	7,45
İLETKENLİK (µS/cm)	498	514	515	515	518	517
BULANIKLIK (NTU)	6,41	2,51	2,74	2,23	1,90	2,38
ÇAMUR HACMİ (cm^3)	0,00	141,76	141,76	141,76	141,76	141,76
ARSENİK ($\mu g\ L^{-1}$)	93,22	10,25	9,93	6,38	5,12	12,66
% VERİM	-	89,00	89,35	93,16	94,51	86,42
YASAL SINIR ($\mu g\ L^{-1}$)	10					

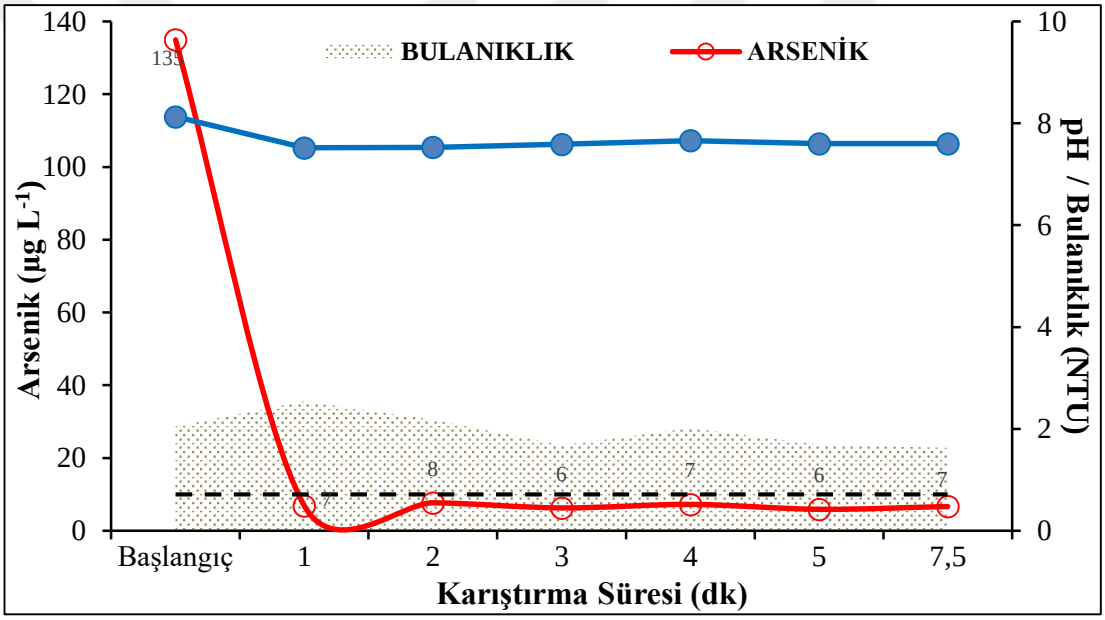


Şekil 10: Demir klorür hızlı karıştırma hız grafiği

7 mg L^{-1} demir klorür ve hızlı karıştırma süresi 75 s olarak belirlenen demir klorür çalışmasına hızlı karıştırmanın hızını belirlemek amacıyla tablo 4.4'te sonuçları verilen çalışma yapılmıştır. 90-230 dv/dk hızları arasında değişen kinetik çalışmalarda 200 dv/dk optimum şartları sağlamıştır (Şekil 4.4). Bu sonucun artından hızlı karıştırma süresi 75 s, hızı ise 200 dv/dk olduğu bulunarak kinetik çalışmaların bir diğer yarısı yavaş karıştırma parametrelerini belirlemeye geçilmiştir.

Çizelge 4.5: Demir klorür yavaş karıştırma süre çalışması (Hızlı karıştırma 2 dk, 200 dv/dk, çökelme süresi 30 dk)

PARAMETRE	GİRİŞ	SÜRE (dk)					
	Başlangıç	1	2	3	4	5	7,5
pH	8,13	7,52	7,53	7,59	7,66	7,60	7,60
İLETKENLİK (µS/cm)	491	504	505	505	504	506	503
BULANIKLIK (NTU)	2,05	2,54	2,18	1,68	2,01	1,69	1,63
ÇAMUR HACMİ (cm^3)	0,00	56,71	85,06	85,06	113,41	141,76	141,76
ARSENİK (µg L^{-1})	134,98	6,90	7,70	6,29	7,26	5,91	6,67
% VERİM	-	94,89	94,30	95,34	94,62	95,62	95,06
YASAL SINIR (µg L^{-1})	10						

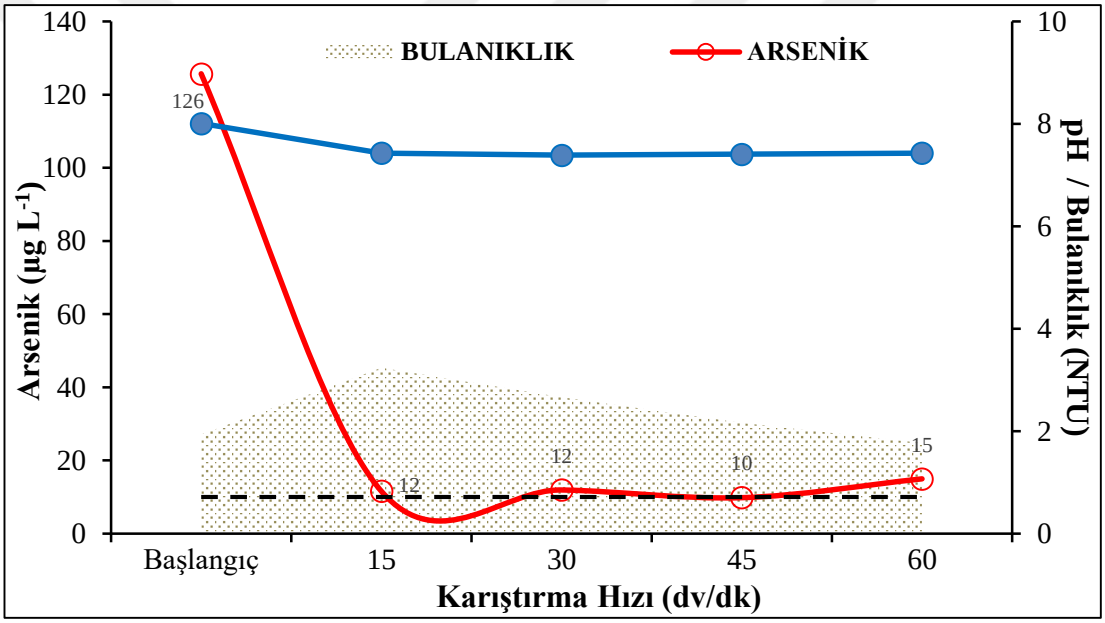


Şeki4.5: Demir klorür yavaş karıştırma süre grafiği

Demir klorür konsantrasyonu 7 mg L^{-1}, hızlı karıştırma süresi 75 s ve hızı 200 dv/dk olan çalışmada bir diğer adım yavaş karıştırma süresi olmuştur. 1-7,5 dk arasında değişen sürelerde optimum şartı sağlayan süre 1 dk olarak bulunmuştur (Şekil 4.5). Yavaş karıştırma süresi bundan sonra yapılan demir klorür çalışmalarının tamamında 1 dk olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu parametrelerin ışığında yavaş karıştırma hız çalışmasına geçilmiştir.

Çizelge 4.6: Demir klorür yavaş karıştırma hız çalışması (Hızlı karıştırma 75 sn, 150 dv/dk, çökelme süresi 30 dk)

PARAMETRE	GİRİŞ	HIZ (dv/dk)			
	Başlangıç	15	30	45	60
pH	8,01	7,43	7,39	7,41	7,43
İLETKENLİK (µS/cm)	493	504	505	504	505
BULANIKLIK (NTU)	1,94	3,24	2,66	2,16	1,77
ÇAMUR HACMİ (cm^3)	-	56,71	56,71	56,71	56,71
ARSENİK (µg L^{-1})	125,68	11,61	11,97	9,86	15,01
% VERİM	-	90,76	90,48	92,15	88,06
YASAL SINIR (µg L^{-1})	10				

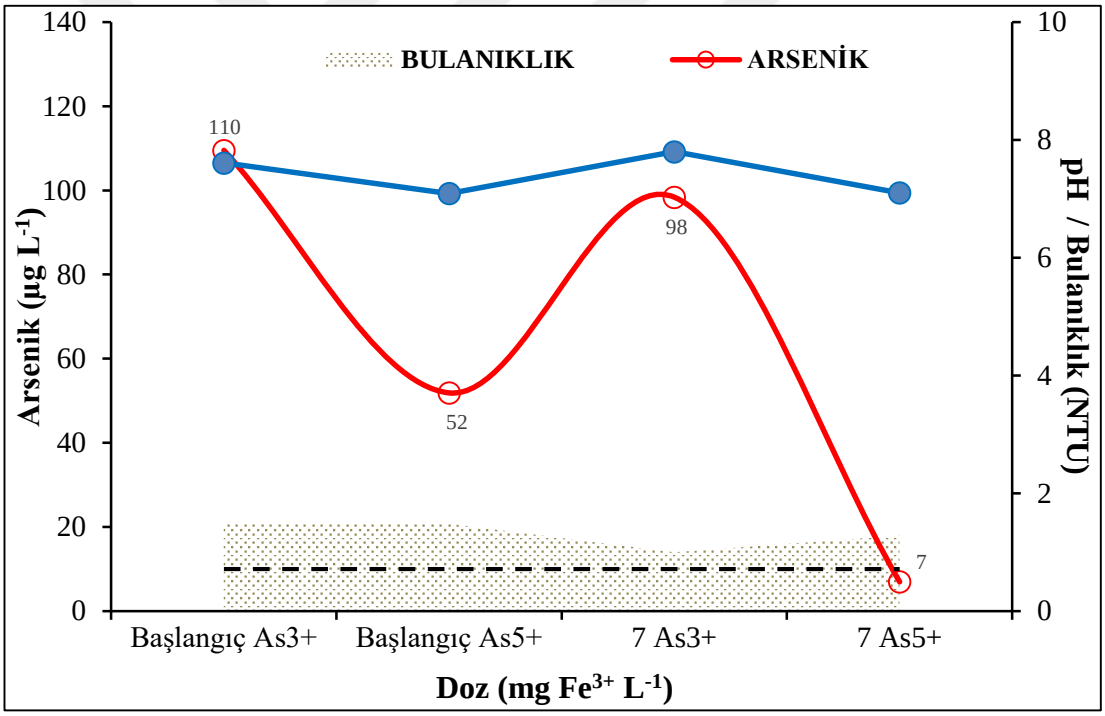


Şeki4.6: Demir klorür yavaş karıştırma hız grafiği

Kinetik çalışmaların son adımı olan yavaş karıştırma 15-60 dv/dk aralığında yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda optimum değer olarak 45 dv/dk bulunmuştur. Demir klorür çalışmaların bu çalışmaya kadar olan bölümüne göre; doz 7 mg L^{-1}, hızlı karıştırma süre ve hızı 75 s, 150 dv/dk, yavaş karıştırma süre ve hızı, 1 dk, 45 dv/dk olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.7: En verimli şartlarda 3 ve 5 değerlikli arsenik çalışması (Hızlı karıştırma 75 sn, 150 dv/dk, yavaş karıştırma 1 dk, 45 dv/dk, çökelme süresi 30 dk)

PARAMETRE	GİRİŞ		GİRİŞ	As^{5+}
DOZ (mg Fe^{3+} L^{-1})	Başlangıç As^{3+}	7 As^{3+}	Başlangıç As^{5+}	7 As^{5+}
pH	7,61	7,09	7,80	7,10
İLETKENLİK (µS/cm)	488	505	493	508
BULANIKLIK (NTU)	1,49	1,48	1,00	1,28
ÇAMUR HACMİ (cm^3)	0,00	56,71	0,00	56,71
ARSENİK (µg L^{-1})	109,52	51,86	98,38	6,95
% VERİM	-	52,65	0,00	92,94
YASAL SINIR (µg L^{-1})	10			
TOC (mg L^{-1})	7,67	5,56	6,79	5,60
TN (mg L^{-1})	1,25	1,08	1,18	1,59



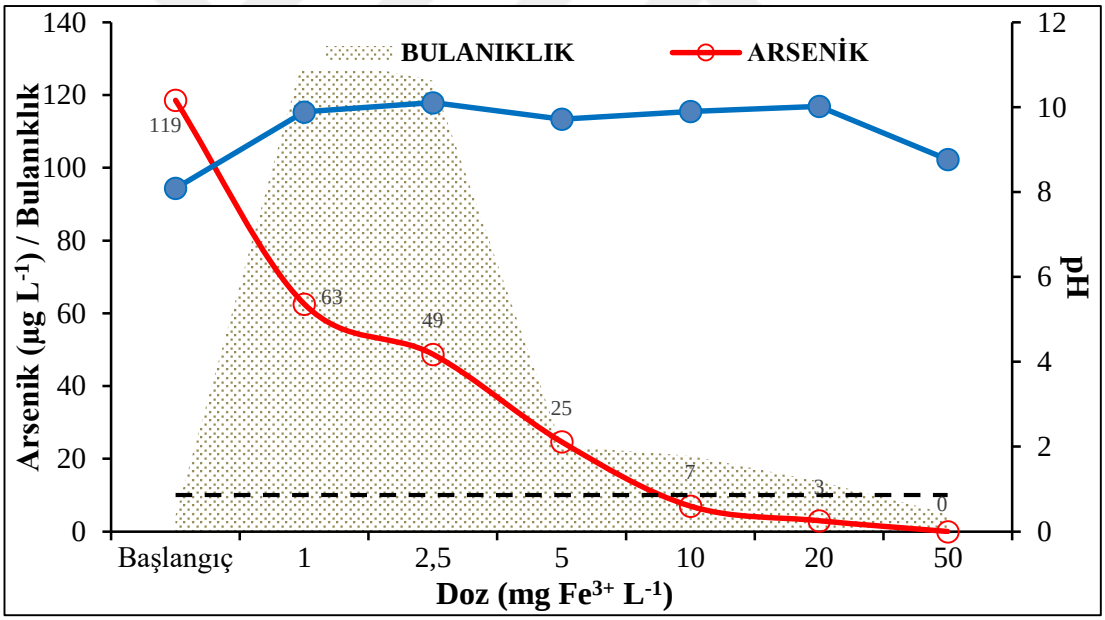
Şekil 11: En verimli şartlarda 3 ve 5 değerlikli arsenik çalışması grafiği

Aksaray ili içme suyu ve laboratuvar ortamında hazırlanan sentetik su ile yapılan çalışmalarda belirlenen parametreler optimum şartları sağlamıştır. 3+ ve 5+ değerlikli arsenik içeren sularda yapılan çalışmalar 3+ değerliğe sahip sudaki arseniğin, yaklaşık % 50'si giderilirken, 5+ değerliğe sahip arsenik içeren suda verim %90 seviyelerinde olmuştur.

4.2 Demir Sülfat ve Kireç

Çizelge 4.8: Geniş aralık demir sülfat doz çalışması (Yardımcı koagülant (kireç) 0,1 gr, hızlı karıştırma süresi 2 dk, hızı 200 dv/dk, yavaş karıştırma süresi 5 dk, hızı 30 dv/dk, çökelme süresi 30 dk)

PARAMETRE	GİRİŞ	DOZ (mg Fe^{3+} L^{-1})					
	Başlangıç	1	2,5	5	10	20	50
KİREÇ (gr)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
pH	8,09	9,89	10,11	9,72	9,90	10,02	8,77
İLETKENLİK (µS/cm)	498	374	402	422	422	438	574
BULANIKLIK (NTU)	4,25	131,20	124,00	23,47	20,83	13,81	4,88
ÇAMUR HACMİ (cm^3)	0,00	0,00	56,71	56,71	85,06	113,41	170,12
ARSENİK (µg L^{-1})	118,60	62,57	48,75	24,66	7,00	2,98	0,00
% VERİM	-	47,24	58,90	79,21	94,10	97,49	100,00
YASAL SINIR (µg L^{-1})	10						



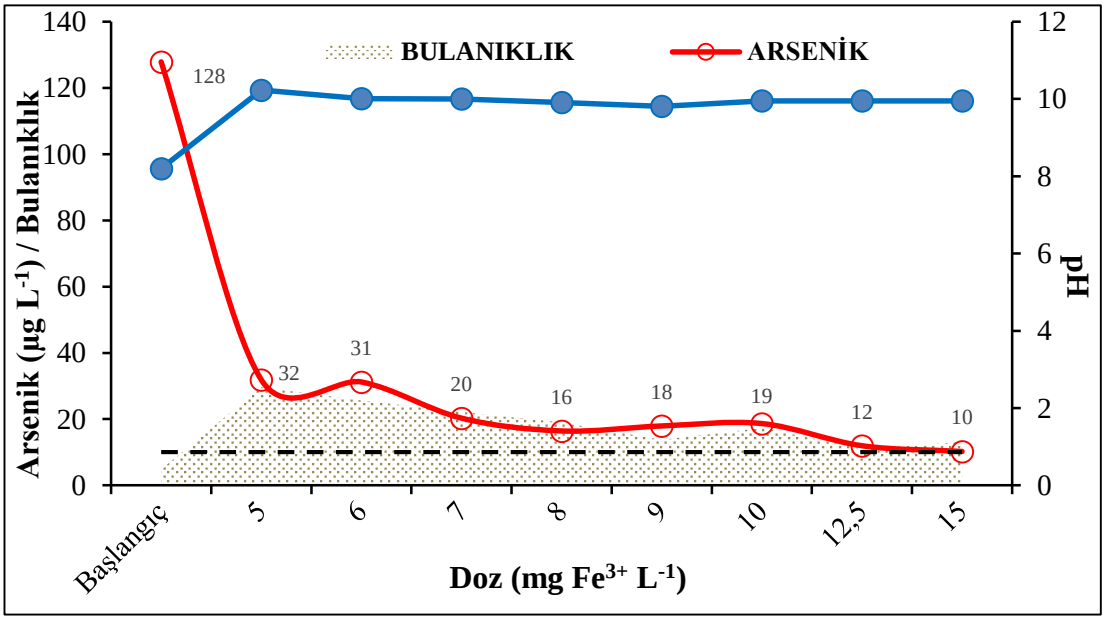
Şekil 4.8: Demir sülfat doz çalışması verim ve bulanıklık grafiği

Başlangıç sularının pH aralığında tek başına giderim yapamayan demir sülfata ($FeSO_4$), yardımcı koagülant olarak kireç kullanılmıştır. Öncelikle sabit tutulan kinetik parametreler ışığında demir sülfat dozunu belirlemek için çalışmalara başlanmıştır. Tablo 4.8'de sonuçları verilen çalışmara göre 1-50 mg L^{-1} aralığı, 1-15 mg L^{-1} aralığına düşürülerek çalışmalara devam edilmiştir.

Çizelge 4.9: Demir sülfat doz çalışması (Yardımcı koagülant (kireç) 0,1 gr, hızlı karıştırma süresi 2 dk, hızı 200 dv/dk, yavaş karıştırma süresi 5 dk, hızı 30 dv/dk, çökelme süresi 30 dk)

DOZ (mg Fe^{3+} L^{-1})	Başlangıç	5	6	7	8
KİREÇ (gr)	0,1				
pH	8,20	10,23	10,01	10,00	9,91
İLETKENLİK (µS/cm)	502	412	412	416	421
BULANIKLIK (NTU)	4,85	29,58	25,64	22,21	18,96
ÇAMUR HACMİ (cm^3)	0,00	56,71	56,71	56,71	70,88
ARSENİK (µg L^{-1})	127,86	31,86	31,19	20,26	16,39
% VERİM	-	75,08	75,61	84,15	87,18
YASAL SINIR (µg L^{-1})	10				

9	10	12,5	15
0,1	0,1		
9,81	9,95	9,95	9,95
426	415	431	424
13,74	17,38	11,06	13,12
85,06	85,06	113,41	113,41
17,90	18,63	11,93	10,20
86,00	85,43	90,67	92,02
	10		

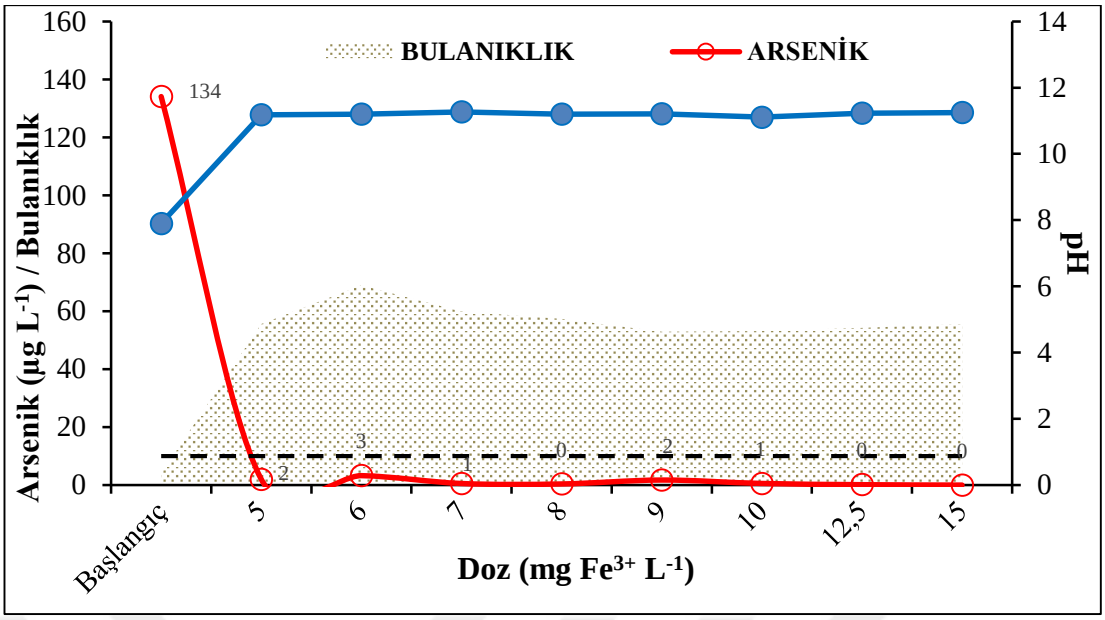


Şekil 4.9: Demir sülfat doz çalışması verim ve bulanıklık grafiği

Çizelge 4.10: Demir sülfat doz çalışması (Yardımcı koagülant (kireç) 0,2 gr, hızlı karıştırma süresi 2 dk, hızı 200 dv/dk, yavaş karıştırma süresi 5 dk, hızı 30 dv/dk, çökelme süresi 30 dk)

DOZ (mg Fe^{3+} L^{-1})	Başlangıç	5	6	7	8
KİREÇ (gr)	0,2				
pH	7,90	11,18	11,20	11,27	11,20
İLETKENLİK (µS/cm)	510	610	611	632	608
BULANIKLIK (NTU)	4,09	55,56	68,91	59,88	57,33
ÇAMUR HACMİ (cm^3)	0,00	141,76	170,12	198,47	198,47
ARSENİK (µg L^{-1})	134,06	2,02	3,29	0,57	0,42
% VERİM	-	98,50	97,55	99,57	99,69
YASAL SINIR (µg L^{-1})	10				

9	10	12,5	15
0,2	0,2		
11,21	11,11	11,23	11,25
605	546	630	533
52,95	53,10	54,25	55,60
226,82	226,82	226,82	255,18
1,78	0,60	0,17	0,03
98,68	99,56	99,87	99,98
10			

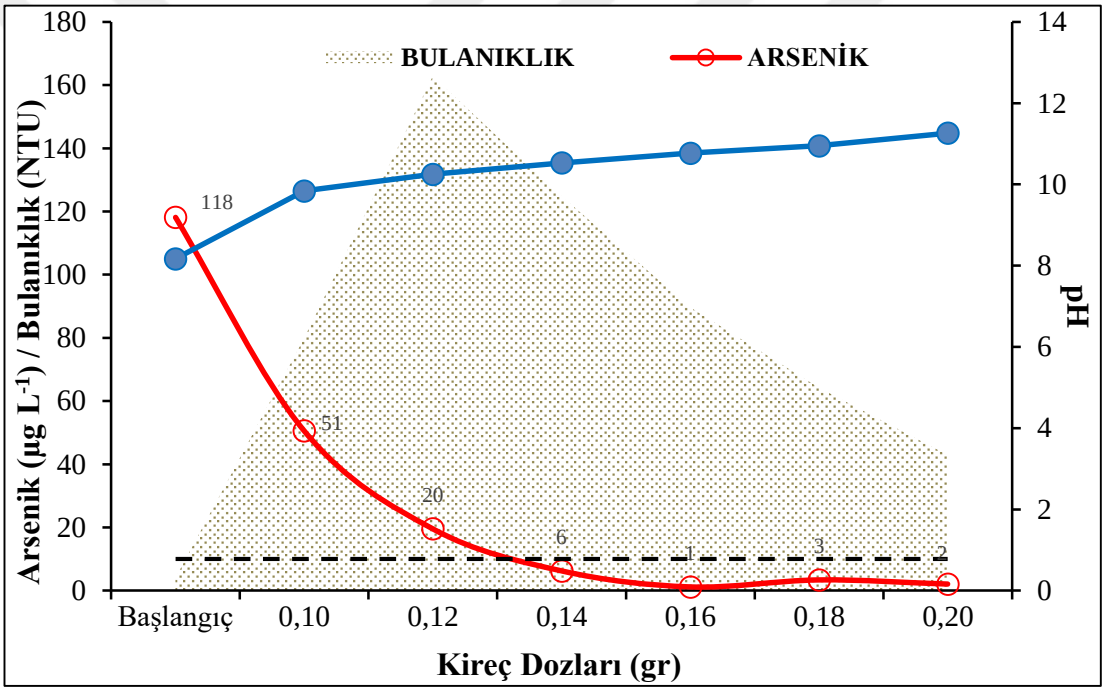


Şekil 4.10: Demir sülfat doz çalışması verim ve bulanıklık grafiği

Yardımcı koagülantın yetersiz geldiği düşünülerek miktarı iki katına çıkarılmıştır. 5-15 mg L^{-1} demir sülfat dozu aralığında yürütülen çalışmada, 0,2 gr kireç ilavesiyle optimum şartları sağlayan konsantrasyonun 5 mg L^{-1} olduğu bulunmuştur (Tablo 4.10). Daha sonra yapılan çalışmalarda bu doz sabit tutularak yardımcı kogülant dozu ve kinetik çalışmalara başlanmıştır. Demir sülfat ile birlikte suya giren kireç yüksek miktarda bulanıklığa sebep olmaktadır (Şekil 4.10).

Çizelge 4.11: Yardımcı koagülant; kireç dozu çalışması (Hızlı karıştırma süre 2 dk, hız 200 dv/dk, yavaş karıştırma süre 5 dk, hız 30 dv/dk, çökelme süresi 30 dk)

PARAMETRE	GİRİŞ	KİREÇ DOZU (gr)					
	Başlangıç	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20
pH	8,17	9,84	10,25	10,53	10,77	10,95	11,26
İLETKENLİK (µS/cm)	502	404	399	404	414	463	625
BULANIKLIK (NTU)	3,96	79,85	162,70	124,80	89,63	64,14	42,89
ÇAMUR HACMİ (cm^3)	0,00	141,76	141,76	141,76	141,76	141,76	141,76
ARSENİK (µg L^{-1})	118,16	50,55	19,54	6,26	1,19	3,40	2,09
% VERİM	-	57,22	83,46	94,70	99,00	97,12	98,24
YASAL SINIR (µg L^{-1})	10						

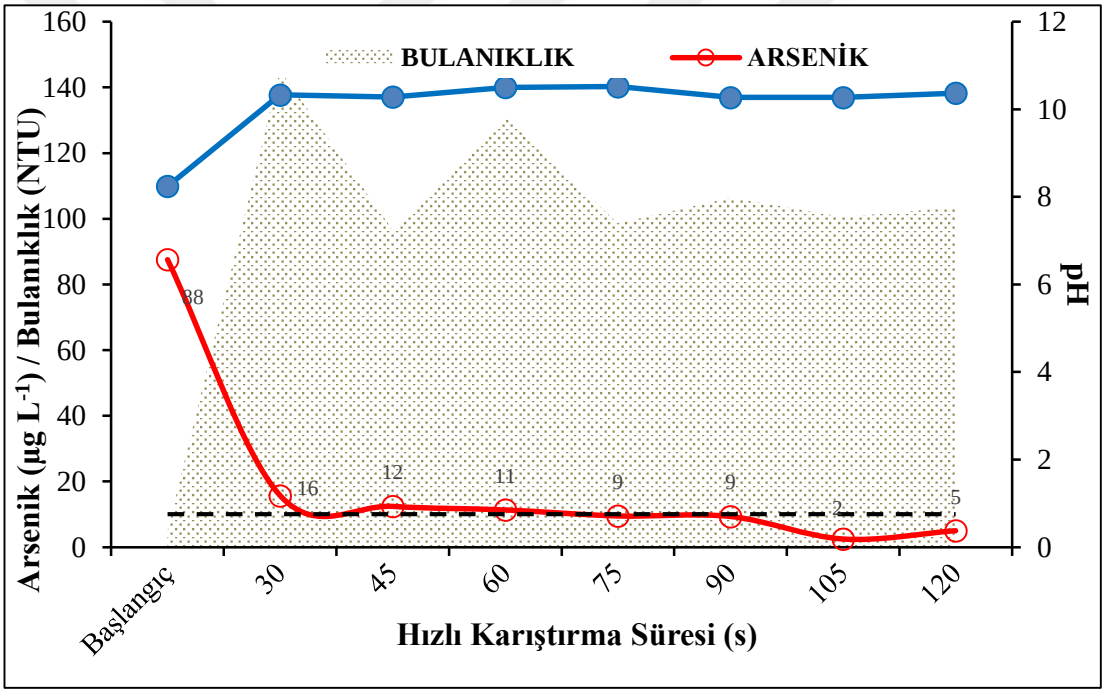


Şekil 4.11: Kireç dozu, verim ve bulanıklık grafiği

Demir sülfat dozu 5 mg L^{-1} olarak bulunduktan sonra, bu dozdaki optimum kireç miktarının belirlenmesi işlemi yapılmıştır (Şekil 4.11). 0,14 gr olarak belirlenen yardımcı koagülant miktarından sonra kinetik çalışmalara başlanmıştır.

Çizelge 4.12: Hızlı karıştırma süre çalışması (Kireç 0,14 gr, yavaş süre 5 dk, hız 30 dv/dk, çökelme süre 30 dk)

PARAMETRE	GİRİŞ	SÜRE (s)						
	Başlangıç	30	45	60	75	90	105	120
KİREÇ (gr)	0,14							
pH	8,24	10,33	10,28	10,50	10,52	10,27	10,27	10,37
İLETKENLİK (µS/cm)	499	381	386	414	395	393	389	389
BULANIKLIK (NTU)	4,80	145,2	96,52	131,0	98,64	106,4	100,6	103,5
ÇAMUR HACMİ (cm^3)	0,00	113,4	141,7	141,7	113,41	113,41	113,41	113,41
ARSENİK (µg L^{-1})	87,56	15,69	12,41	11,32	9,49	9,33	2,47	5,00
% VERİM	-	82,08	85,83	87,07	89,16	89,34	97,18	94,29
YASAL SINIR (µg L^{-1})	10							

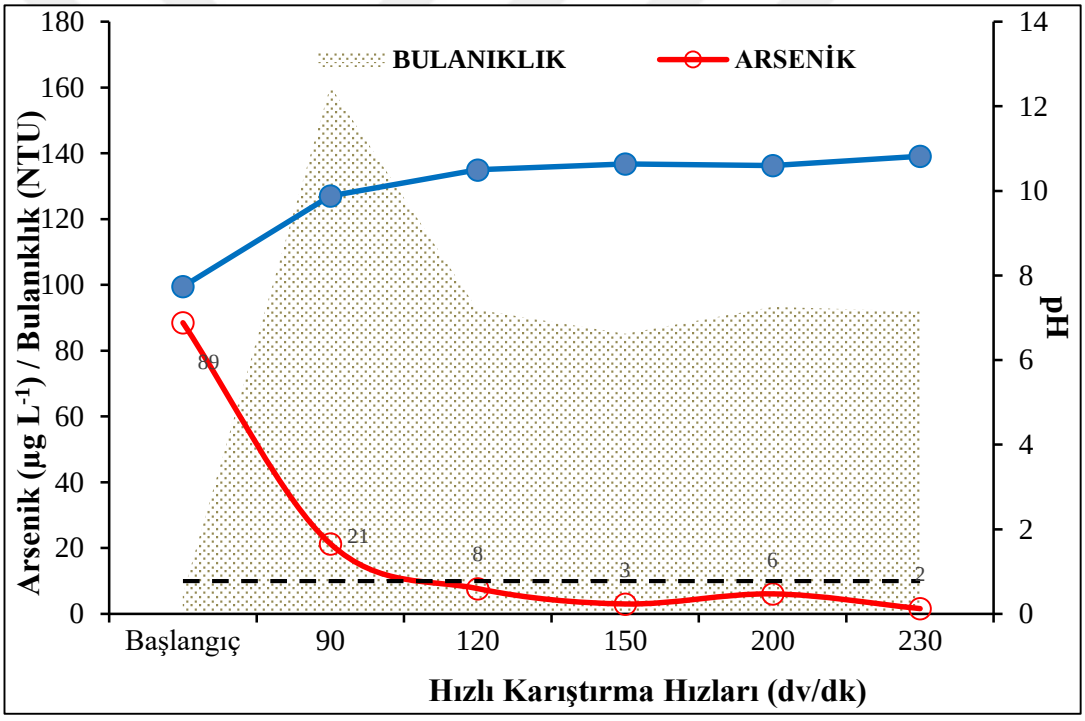


Şekil 4.12: Hızlı karıştırma süre grafiği

5 mg L^{-1} demir sülfat ve 0,14 gr kireç konsantrasyonları belirlendikten sonra, bu değerler sabit tutularak kinetik çalışmalara başlanmıştır. İlk adım olarak hızlı karıştırma süreleri 30-120 s aralığında çalışılmıştır. Arsenik giderimi için gerekli optimum süre 75 s olarak bulunmuştur (Şekil 4.12). Yeni bulunan parametre ile birlikte bir diğer kinetik çalışma hızlı karıştırma hızı için gerekli optimum şartı belirleme çalışmasına geçilmiştir.

Çizelge 4.13: Hızlı karıştırma, hız çalışması (Kireç 0,14 gr, yavaş karıştırma süre 5 dk, hız 30 dv/dk, çökelme süresi 30 dk)

PARAMETRE	GİRİŞ	HIZ (dv/dk)				
	Başlangıç	90	120	150	200	230
KİREÇ (gr)	0,14					
pH	7,74	9,88	10,50	10,64	10,60	10,82
İLETKENLİK (µS/cm)	494	403	445	461	442	469
BULANIKLIK (NTU)	5,91	160,40	92,44	85,11	93,29	91,97
ÇAMUR HACMİ (cm^3)	0,00	113,41	113,41	113,41	113,41	113,41
ARSENİK (µg L^{-1})	88,52	21,31	7,67	3,00	6,07	1,59
% VERİM	-	75,93	91,34	96,61	93,14	98,20
YASAL SINIR (µg L^{-1})	10					

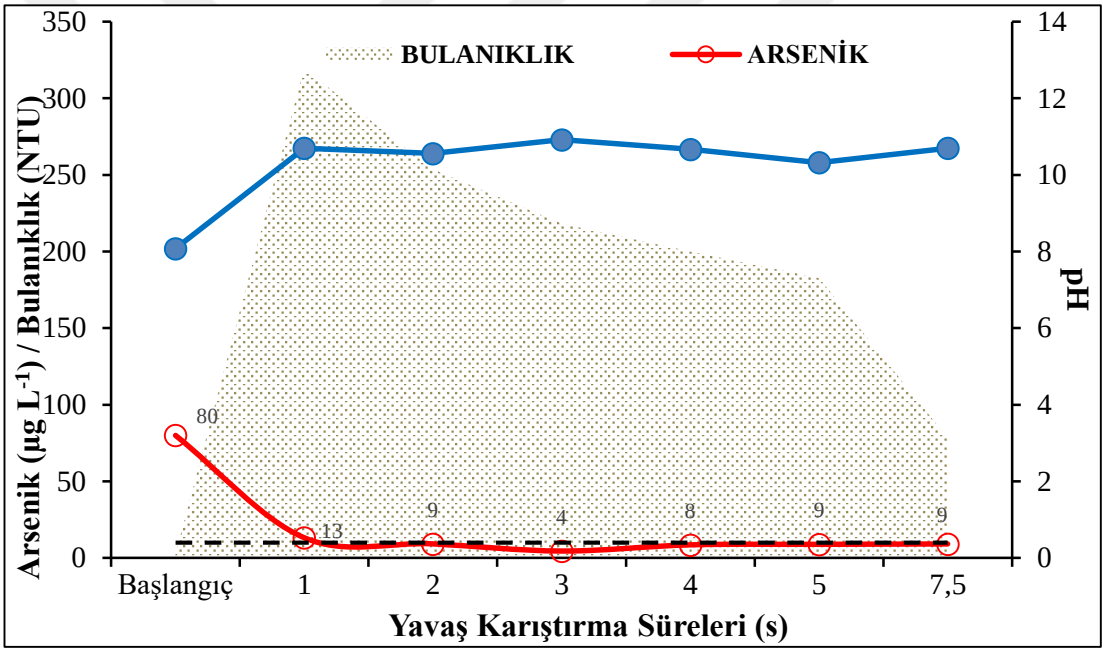


Şekil 4.13: Hızlı karıştırma, hız grafiği

Kinetik çalışmada hızlı karıştırma parametreleri bu çalışmayla birlikte belirlenmiştir ve daha sonra yavaş karıştırma parametrelerine geçilmiştir. Bu çalışmaya göre optimum hızlı karıştırma hızı 120 dv/dk olarak bulunmuştur. Bundan sonra yapılacak tüm çalışmalarda bu değerler kullanılmıştır.

Çizelge 4.14: Yavaş karıştırma, süre çalışması (Kireç 0,14 gr, hızlı karıştırma süreleri 75 s, hızları 120 dv/dk, çökelme süreleri 30 dk)

PARAMETRE	GİRİŞ	SÜRE (dk)					
	Başlangıç	1	2	3	4	5	7,5
KİREÇ (gr)	0,14						
pH	8,08	10,70	10,56	10,92	10,67	10,32	10,70
İLETKENLİK (µS/cm)	491	441	418	486	430	401	453
BULANIKLIK (NTU)	2,27	319,50	253,70	218,20	200,10	182,70	78,24
ÇAMUR HACMİ (cm^3)	0,00	56,71	56,71	85,06	113,41	113,41	113,41
ARSENİK (µg L^{-1})	80,00	13,14	9,13	4,43	8,47	8,82	9,07
% VERİM	-	83,58	88,59	94,46	89,41	88,98	88,66
YASAL SINIR (µg L^{-1})	10						

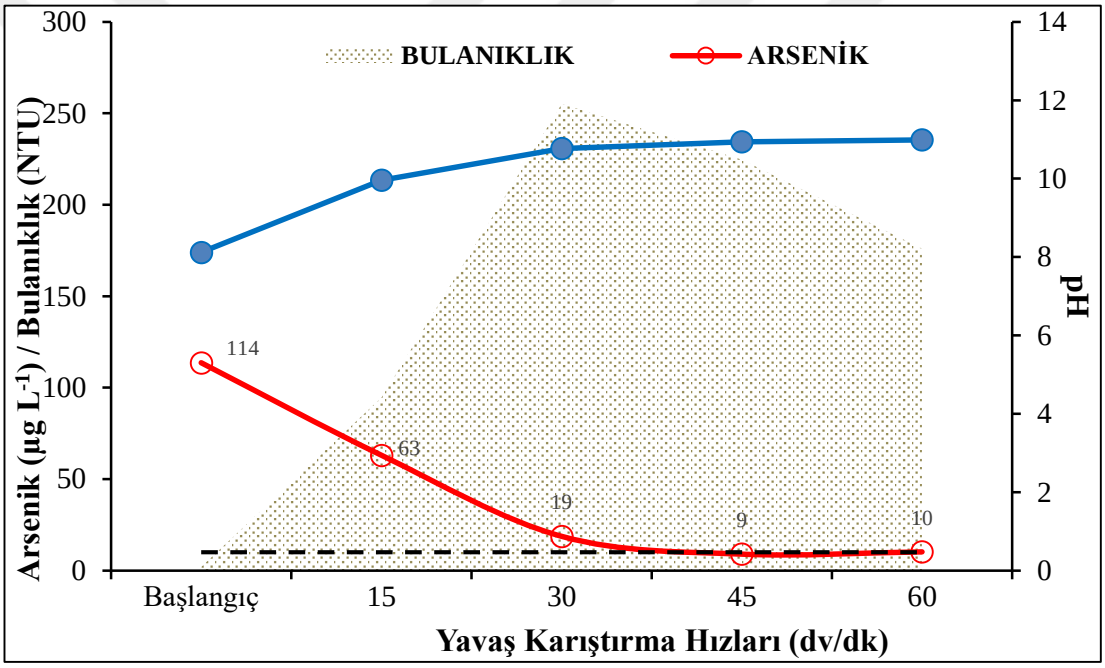


Şekil 4.14: Yavaş karıştırma, süre grafiği

Kullanılacak optimum demir sülfat ve kireç dozlarının ardından başlanan kinetik çalışmalarda; hızlı karıştırma süre ve hızları belirlenmiştir. Bu doz ve parametreler ışığında yavaş karıştırma süre çalışması yapılmıştır ve optimum yavaş karıştırma süresi 3 dk olarak bulunmuştur. Bu sonuçların devamı olarak yavaş karıştırma hızını belirleme çalışmalarına geçilmiştir.

Çizelge 4.15: Yavaş karıştırma, hız çalışması (Kireç dozu; 0,14 gr, hızlı karıştırma süreleri 75 s, hızları 120 dv/dk, çökelme süreleri 30 dk)

PARAMETRE	GİRİŞ	HIZ (dv/dk)			
	Başlangıç	15	30	45	60
pH	8,12	9,96	10,77	10,94	10,99
İLETKENLİK (µS/cm)	493	399	446	490	506
BULANIKLIK (NTU)	2,05	94,60	255,20	224,70	176,10
ÇAMUR HACMİ (cm^3)	-	85,06	85,06	85,06	85,06
ARSENİK ($\mu g\ L^{-1}$)	113,54	63,00	18,69	8,96	10,19
% VERİM	-	44,51	83,54	92,11	91,03
YASAL SINIR ($\mu g\ L^{-1}$)	10				

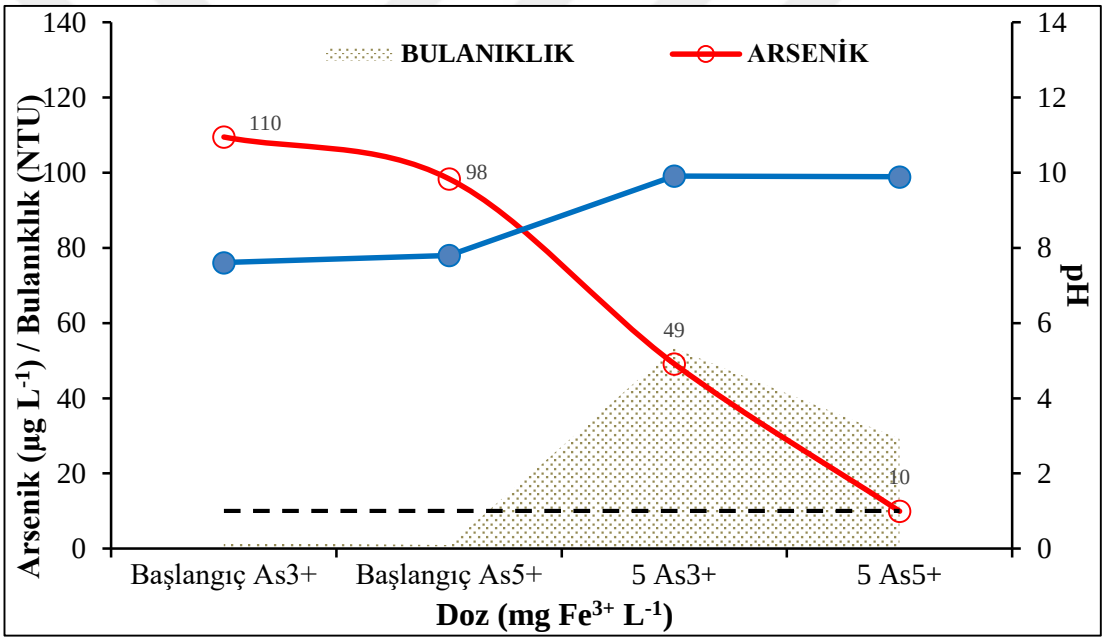


Şekil 4.15: Yavaş karıştırma, hız grafiği

Demir sülfat çalışmalarında son parametre olan yavaş karıştırma hızının belirlenmesi olan bu çalışmada optimum değer olarak 45 dv/dk bulunmuştur. Bulunan tüm optimum parametreler kullanılarak arsenik (3+ ve 5+) giderim çalışmalarına geçilmiştir.

Çizelge 4.16: En verimli şartlarda 3 ve 5 değerlikli arsenik çalışması (Kireç dozu; 0,14 gr, hızlı karıştırma süreleri 75 s, hızları 120 dv/dk, yavaş karıştırma süreleri 3 dk, hızları 45 dv/dk, çökelme süreleri 30 dk)

DOZ (mg Fe^{3+} L^{-1})	Başlangıç As^{3+}	5 As^{3+}	Başlangıç As^{5+}	5 As^{5+}
KİREÇ (gr)	0,14			
pH	7,61	9,91	7,80	9,89
İLETKENLİK (µS/cm)	488	413	493	414
BULANIKLIK (NTU)	1,49	53,32	1,00	29,20
ÇAMUR HACMİ (cm^3)	0,00	85,06	0,00	85,06
ARSENİK (µg L^{-1})	109,52	49,15	98,38	9,96
% VERİM	-	55,12	-	89,88
YASAL SINIR (µg L^{-1})	10			



Şekil 4.16: En verimli şartlarda 3 ve 5 değerlikli arsenik çalışması grafiği

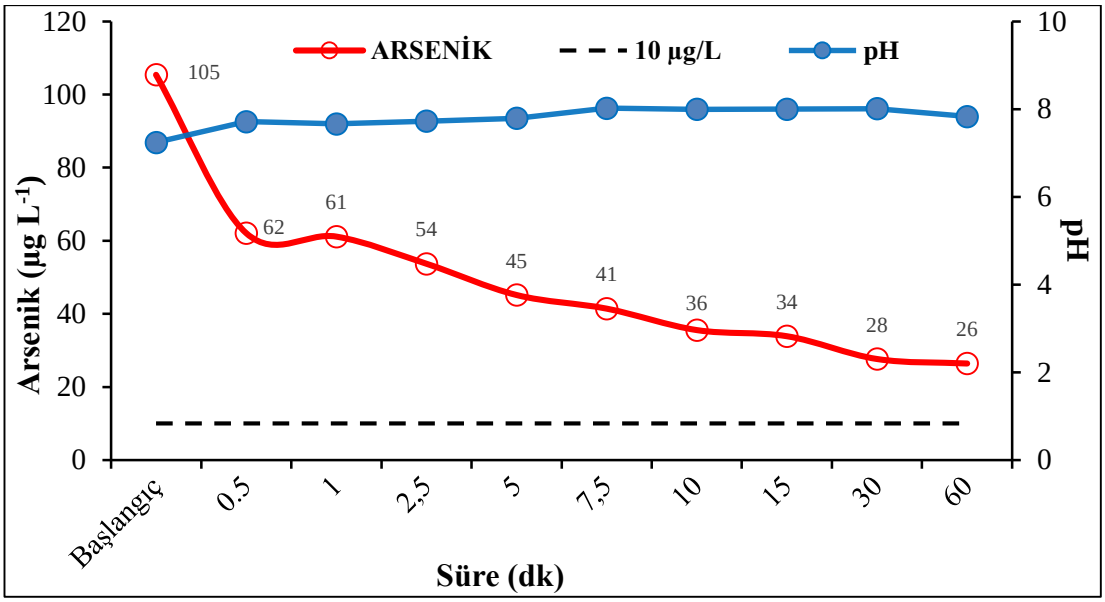
Yapılan çalışmalar sonucu belirlenen parametrelerin kullanıldığı bu çalışmada arsenik giderim verimi 3+ değerliği için yaklaşık %50 olurken, 5+ değerliği için verimin %90 civarında olduğu bulunmuştur.

4.3 Adsorpsiyon

Gerçekleştirilen adsorpsiyon çalışmalarının amacı, Aksaray ili civarında bulunan doğal materyalleri kullanarak; suda doğal ya da sentetik olarak bulunan arseniği gidermektir. Yapılan çalışmalarda, farklı bölgelerden alınan pomza, tüf ve zeolit kullanılmıştır. Bunun yanı sıra Doğantarla bölgesinden alınan pomzaya laboratuvar ortamında demir kaplaması yapılarakta adsorban madde olarak kullanılmıştır. Demir kaplı pomzadan diğer pomza ve tüflere göre daha fazla verim elde edilmesine rağmen, demir kaplama maliyeti, kullanılacak dozun fazla olması göz önünde bulundurularak bu çalışmada sonlandırılmıştır. Sonuç olarak kimyasal çöktürme yöntemine göre maliyetin fazla verimin ise çok düşük olduğu bu çalışmalarda görülmüştür.

Çizelge 4.17: Demir kaplı pomza adsorpsiyon kinetiğinin çalışması (1 gr demir kaplı pomza 100 ml giriş sularına ilave edilerek tablodaki sürelerde, 200 dv/dk hızla çalkalandı)

PARAMETRE	GİRİŞ	SÜRE (dk)								
	Başlangıç	0.5	1	2,5	5	7,5	10	15	30	60
pH	7,24	7,72	7,67	7,73	7,79	8,02	8,00	8,00	8,01	7,83
İLETKENLİK	510	516	515	515	515	514	514	511	515	510
BULANIKLIK	5,04	4,09	4,06	4,47	4,59	4,72	4,93	5,03	6,22	8,16
ARSENİK	105,40	62,08	61,14	53,70	45,15	41,42	35,55	33,87	27,63	26,40
% VERİM	-	41,10	42,00	49,05	57,17	60,71	66,27	67,87	73,79	74,95
YASAL SINIR	10									

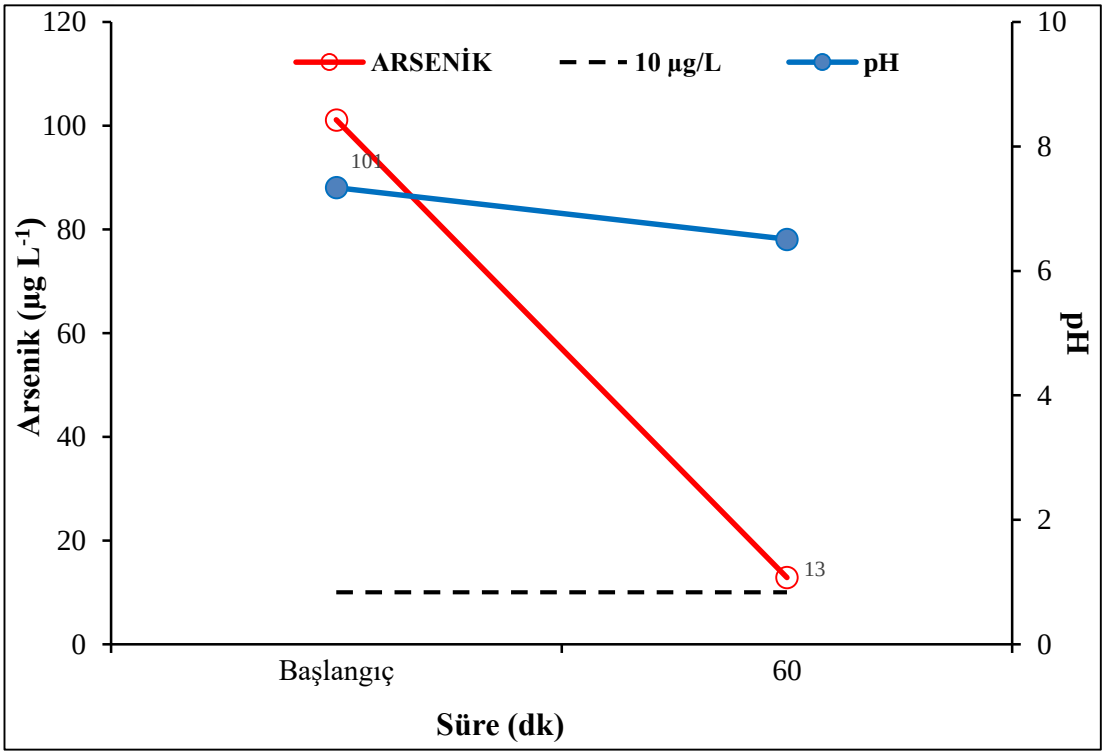


Şekil 4.17: Demir kaplı pomza çalışması grafiği

Aksaray ili Doğantarla bölgesinden alınan pomzaya laboratuvar çalışmalarında kullanmak üzere demir kaplama işlemi yapılmıştır. Bu malzemenin arsenik gidermede de verim sağlayıp sağlamadığına yukarıdaki çalışmada bakılmıştır. Sonuç olarak arsenik gidermede yüksek miktarda doz kullanılmasına rağmen verim %75 civarlarında kalmıştır. Maliyet etkisi düşünülerek bu çalışma sonlandırılmıştır. Aşağıdaki çalışmada ise demir kaplı olmayan pomza kullanılmış ve yüksek verim elde edilmiştir. Fakat daha önce getirilen bu malzemenin kaynağı bulunamamıştır.

Çizelge 4.18: Demir kaplı olmayan pomza çalışması (1 gr demir kaplı olmayan pomza 100 ml giriş suyuna ilave edilerek 60 dk, 200 dv/dk hızla çalkalandı)

	GİRİŞ	SÜRE (dk)
PARAMETRE	Başlangıç	60
pH	7,34	6,51
İLETKENLİK (µS/cm)	516	848
BULANIKLIK (NTU)	3,61	2,93
ARSENİK (µg L^{-1})	101,15	12,89
% VERİM	-	87,26
YASAL SINIR (µg L^{-1})	10	



Şekil 4.18: Demir kaplı olmayan pomza çalışması grafiği

Çizelge 4.19: Çeşitli adsorban madde çalışmaları (Adsorban maddelerden 1 gr giriş sularına ilave edilerek, 60 dk, 200 dv/dk hızla çalkalandı)

PARAMETRE		MATERYALLER			
	Başlangıç	T.kaya Pomza	B.sırma Tüf	Zeolit	Uçucu Kül
pH	7,85	8,04	8,10	8,27	11,47
İLETKENLİK (µS/cm)	514	523	518	520	1959
BULANIKLIK (NTU)	2,73	6,90	6,94	20,93	3,35
ARSENİK (µg L^{-1})	121,30	113,00	112,20	110,80	14,00
% VERİM	-	6,84	7,50	8,66	88,46
YASAL SINIR (µg L^{-1})	10				
	Taşpınar Pomza		Doğantarla Pomza		
Adsorban Madde	Yıkanmış	Yıkanmamış	Yıkanmış	Yıkanmamış	
pH	7,91	7,96	7,95	7,94	
İLETKENLİK (µS/cm)	521	517	522	534	
BULANIKLIK (NTU)	8,64	7,97	30,40	34,61	
ARSENİK (µg L^{-1})	95,38	94,59	80,21	78,74	
% VERİM	21,37	22,02	33,87	35,09	
YASAL SINIR (µg L^{-1})	10				

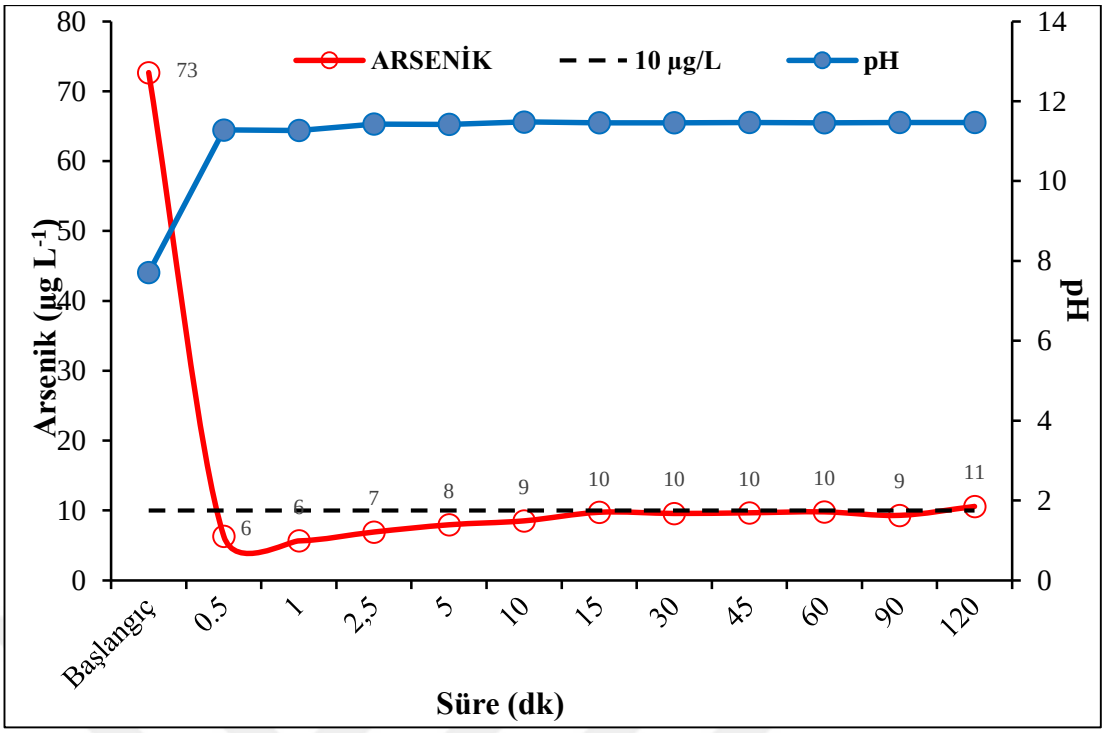
Aksaray ili civarında bulunan Topakkaya, Taşpınar ve Doğantarladan alınan pomza, Belisırma bölgesinden alınan tüf, Bigadiç yöresinden temin edilen zeolit malzemelerinin kullanıldığı adsorpsiyon çalışmasında (Tablo 4.19) görüldüğü gibi herhangi bir arsenik giderim verimi elde edilememiştir. Kahramanmaraş Elbistan'daki termik santralden temin edilen uçucu kül ile yapılan çalışmada ise yüksek verim elde edilmiş ve çalışmalara bu yönde devam edilmiştir.

4.4 Uçucu Kül

Başta adsorpsiyon çalışmasında kullanılan uçucu külün çok kısa sürelerde arsenik giderimi sağladığı, ortamın pH değerleri ile oynadığı ve suyun içiriğini değiştirdiği gözlemlenmiştir. Yapılan kinetik çalışmalar sonucunda 60 s gibi çok kısa sürede arseniği giderdiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuçlar yönünde devam ettirilen çalışmalar sonucunda uçucu külün kimyasal bileşik oluşturarak çökelme yöntemi ile arseniği giderdiği bulunmuştur.

Çizelge 4.20: Uçucu kül süre çalışması (1 gr uçucu kül ilave edilerek, 200 dv/dk hızlarda çalkalandı)

	GİRİŞ	**SÜRE (dk)**					
PARAMETRE	**Başlangıç**	**0.5**	**1**	**2,5**	**5**	**10**	**15**
pH	7,71	11,28	11,27	11,43	11,42	11,48	11,46
İLETKENLİK (µS/cm)	505	1157	1151	1451	1520	1685	1668
BULANIKLIK (NTU)	2,49	6,20	6,91	3,21	7,43	3,32	11,98
ARSENİK (µg L^{-1})	72,66	6,32	5,64	6,91	7,95	8,51	9,74
% VERİM	-	91,30	92,24	90,49	89,06	88,29	86,60
YASAL SINIR (µg L^{-1})	10						
SÜRE (dk)	**Başlangıç**	**30**	**45**	**60**	**90**	**120**	
pH	7,71	11,46	11,47	11,46	11,47	11,47	
İLETKENLİK (µS/cm)	505	1657	1725	1747	1810	1847	
BULANIKLIK (NTU)	2,49	4,00	3,19	2,93	2,90	3,58	
ARSENİK (µg L^{-1})	72,66	9,57	9,66	9,79	9,29	10,57	
% VERİM	-	86,84	86,71	86,52	87,21	85,45	
YASAL SINIR (µg L^{-1})	10						

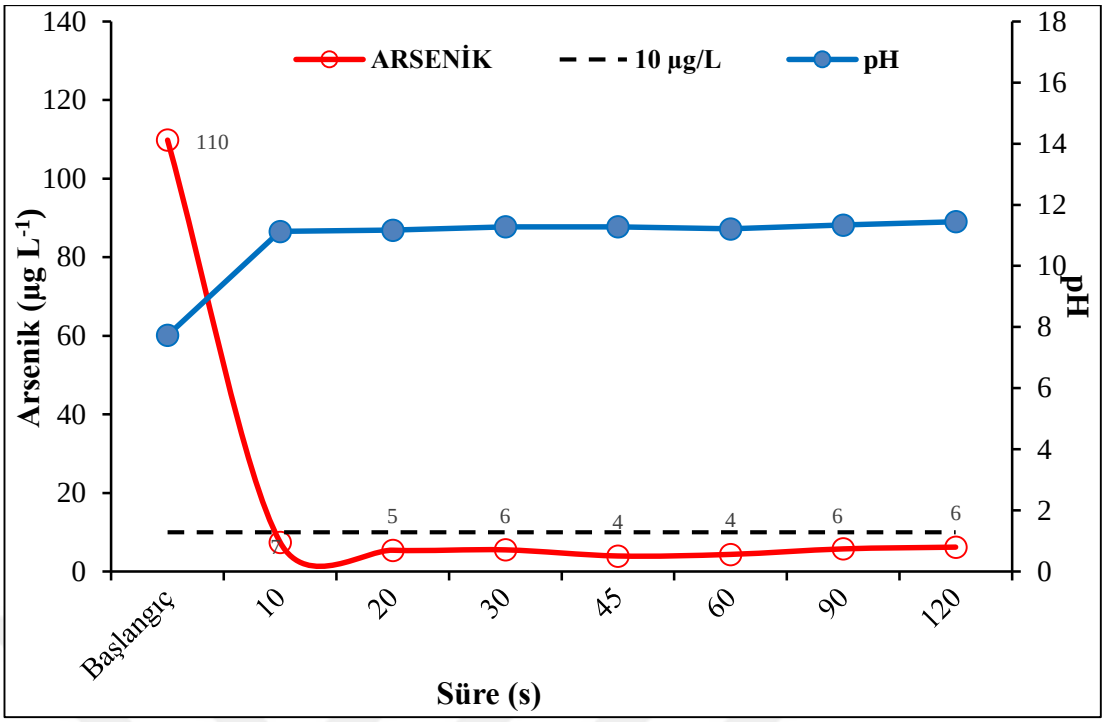


Şekil 4.19: Uçucu kül süre çalışması grafiği

Yapılan bu çalışmada 1 gr uçucu kül ve 200 dv/dk çalkalama hızı sabit tutularak optimum çalkalama süresini belirlemek için çalışmalar yürütülmüştür. 30 s ile 120 dk aralığında yürütülen çalışmalar sonucunda 10-120 s aralığının optimum verimi sağladığı bulunmuştur ve bu aralıktaki yeni bir kinetik çalışmaya geçilmiştir.

Çizelge 4.21: Uçucu kül çalkalama süresi çalışması

SÜRE (s)	Başlangıç	10	20	30	45	60	90	120
pH	7,73	11,13	11,17	11,28	11,28	11,21	11,34	11,45
İLETKENLİK (µS/cm)	506	1029	1031	1149	1153	1151	1360	1442
BULANIKLIK (NTU)	3,33	5,02	9,36	8,54	15,30	5,66	9,04	6,51
ARSENİK (µg L^{-1})	109,80	7,44	5,44	5,53	3,97	4,38	5,78	6,23
% VERİM	-	93,22	95,05	94,96	96,38	96,02	94,74	94,33
YASAL SINIR (µg L^{-1})	10							
AĞIR METALLER (mg L^{-1})								
Zn	0,009	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe	0,007	0,003	0,000	0,042	0,000	0,000	0,004	0,000
Mn	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cr	0,000	0,016	0,017	0,018	0,020	0,021	0,027	0,032
Ag	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Al	0,016	0,255	0,245	0,209	0,253	0,333	0,584	0,680
Ga	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Li	0,195	0,244	0,244	0,239	0,240	0,247	0,251	0,254
Pb	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Bi	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ni	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cu	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
In	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Tl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ba	0,062	0,052	0,055	0,059	0,063	0,068	0,080	0,089
Be	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Hg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Se	0,010	0,028	0,030	0,028	0,027	0,030	0,031	0,031
Sr	0,354	0,304	0,317	0,323	0,336	0,347	0,401	0,431
Ca	33,5	97,15	96,28	112,5	115,4	121,5	151,3	175,3
Mg	16,370	0,782	0,730	0,702	0,423	0,546	0,298	0,142
Na	53,27	56,48	55,58	56,19	55,94	56,07	55,77	54,59
K	10,61	12,25	12,18	12,96	12,53	12,41	12,23	12,23
B	1,098	1,216	1,070	1,072	1,020	1,008	0,977	0,920

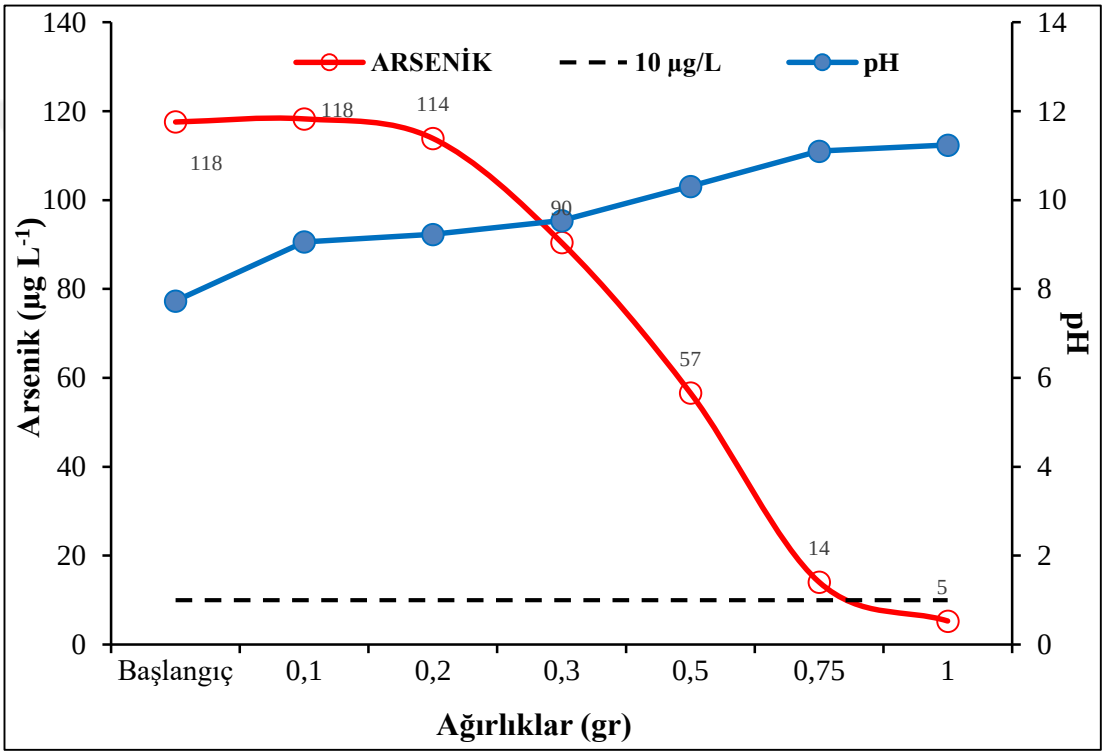


Şekil 4.20: Uçucu kül kalkalama süresi çalışması grafiği

10-120 s aralığında yürütülen kinetik çalışmalar sonucunda 10 s gibi çok kısa sürede istenilen optimum verim sağlanmıştır. Bu sürenin uygulamadaki zorlukları düşünülerek optimum süre olarak 60 s belirlenmiştir. Yapılan bu çalışma sonucu bir kez daha uçucu külün adsorban madde değil de kimyasal reaksiyonlar sonucu arseniği giderdiğini ortaya koymuştur.

Çizelge 4.22: Uçucu kül dozaj çalışması (Çalkalama süre ve hızı; 60 s, 200 dv/dk)

PARAMETRE	GİRİŞ	AĞIRLIK (gr)					
	Başlangıç	0,1	0,2	0,3	0,5	0,75	1
pH	7,73	9,06	9,23	9,54	10,31	11,10	11,24
İLETKENLİK (µS/cm)	508	576	545	553	656	899	1202
BULANIKLIK (NTU)	3,62	5,18	10,21	8,05	4,87	4,94	6,32
ARSENİK (µg L^{-1})	117,60	118,30	113,90	90,46	56,65	14,06	5,27
% VERİM	-	-0,60	3,15	23,08	51,83	88,04	95,52
YASAL SINIR (µg L^{-1})	10						

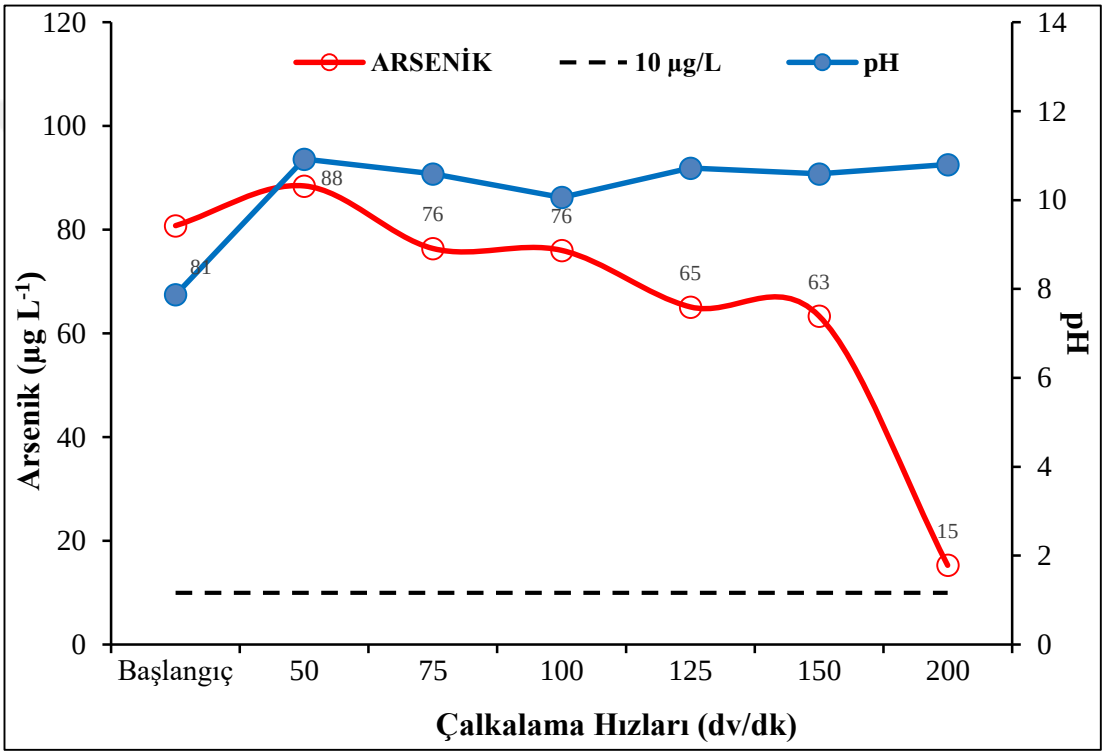


Şekil 4.21: Dozaj çalışması grafiği

Optimum çalkalama süresini tespit ettikten sonra, arseniği giderebilecek yeterli uçucu kül dozunu belirleme çalışmasına geçilmiştir. 0,1-1 gr doz aralığında yapılan çalışmada düşük dozların reaksiyon için yeterli olmadı ve 0,5 gr uçucu kül ilavesinden itibaren % 50 verim elde edildiği bulunmuştur. İstenilen düzeyde arsenik giderebilmek için gerekli uçucu kül miktarının 1 gr olduğu görülmüştür. Uçucu külle gerçekleştirilen diğer çalışmalarda da bndan sonrasında 1 gr olarak kullanılmıştır. Bu sonucun bulunmasının ardından bir diğer kinetik çalışma; çalkalama hızının optimum olduğu hızı tespit etmek üzere bir diğer çalışmaya başlanmıştır.

Çizelge 4.23: Uçucu kül çalkalama hızı çalışması (Doz; 1 gr, süre; 60s)

PARAMETRE	GİRİŞ	HIZ (dv/dk)					
	Başlangıç	50	75	100	125	150	200
pH	7,87	10,92	10,59	10,06	10,72	10,59	10,80
İLETKENLİK (µS/cm)	509	661	756	619	725	732	765
BULANIKLIK (NTU)	4,00	26,36	11,79	8,07	12,98	10,62	9,33
ARSENİK (µg L^{-1})	80,76	88,42	76,36	76,00	65,10	63,37	15,30
% VERİM	-	-9,48	5,45	5,89	19,39	21,53	81,05
YASAL SINIR (µg L^{-1})	10						

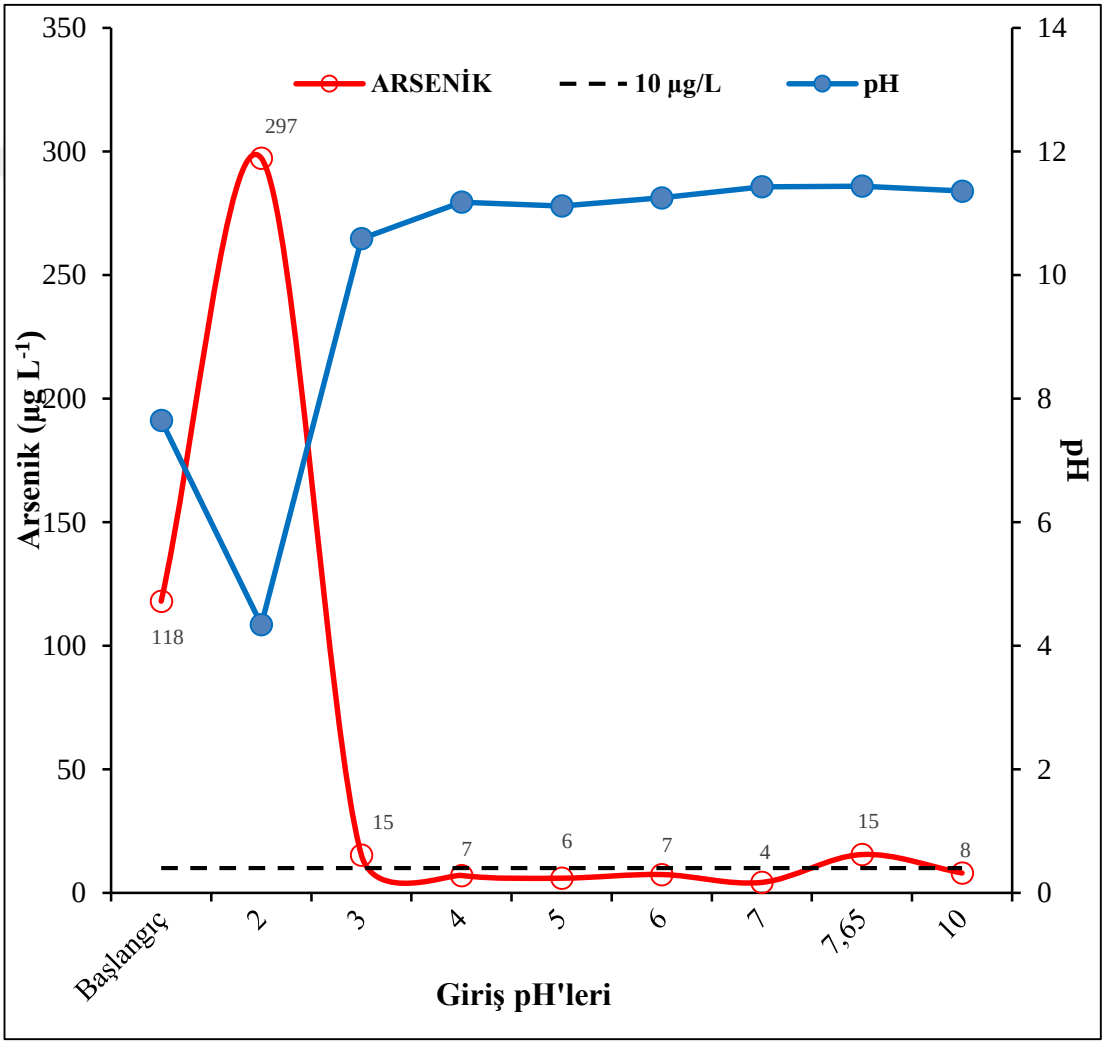


Şekil 12: Çalkalama hızı çalışması grafiği

Çalkalama için harcanacak güç ve buna bağlı olarak enerji maliyetleri düşünülerek gerçekleştirilen bu çalışmada optimum çalkalama hızı belirlenmeye çalışılmıştır. 50-200 dv/dk aralığında gerçekleştirilen hız çalışması sonucunda verim 200 dv/dk ve daha üzerinde sağlanmıştır ve optimum çalkalama hızı 200 dv/dk olarak belirlenerek bundan sonraki çalışmalarda bu hız sabit olarak kullanılmıştır. Bu çalışmadan sonra ise farklı pH ortamlarında uçucu külün arıtma verimleri, sudaki durumu incelenmesi çalışmalarına başlanmıştır.

Çizelge 4.24: Uçucu kül, giriş suyu pH değerleri (Süre; 60s, Hız 200 dv/dk, doz; 1gr)

Giriş pH	Başlangıç	2	3	4	5	6	7	7,65	10
pH	7,65	4,34	10,59	11,18	11,12	11,25	11,43	11,44	11,36
İLETKENLİK (µS/cm)	512	2740	1080	1118	1112	988	1034	1320	1269
BULANIKLIK (NTU)	2,78	2,88	6,49	3,99	3,18	3,18	4,27	2,99	5,10
ARSENİK (µg L^{-1})	118,00	297,3	15,2	7,00	5,90	7,38	4,20	15,4	8,00
% VERİM	-	-151,9	87,0	94,0	95,0	93,7	96,4	86,8	93,2
YASAL SINIR (µg L^{-1})	10								



Şekil 4.23: pH çalışması grafiği

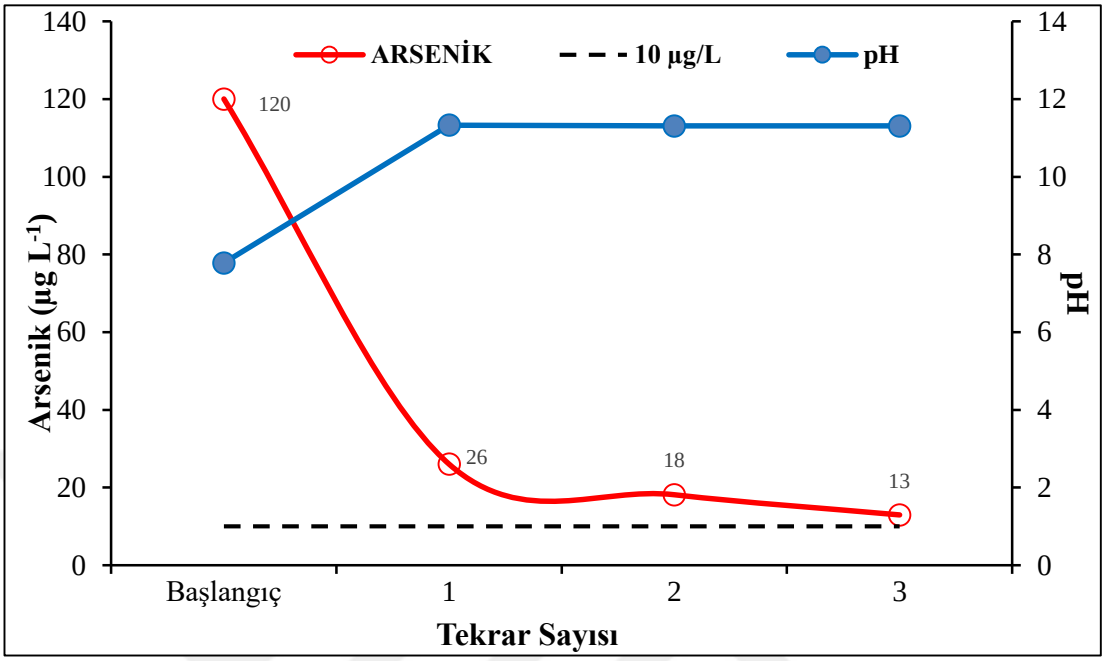
Başlangıç pH değeri 7,65 olan giriş suyunun pH değerleri 2-10 aralıklarına getirilmiştir. pH değerinin 2 olduğu durumlarda uçucu külün yapısının değişerek sindiği ve uzun sürede tamamının çözündüğü görülmüştür. Bu çözünmeye bağlı olrak suyun arsenik değerinin yaklaşık iki kat arttığı tespit edilmiştir. Bu durum uçucu külün yapısında da yüksek konsantrasyonda arsenik bulunduğunu ortaya çıkarmıştır. pH değerinin 3 ve

üzerinde olduğu durumlarda ise uçucu külün yapısındaki hidroksit iyonlarının pH seviyesini yükselterek yapısının bozulmadığı ve istenilen düzeylerde arsenik giderimi sağladığı bulunmuştur. pH değeri 3 ve daha üzerinde olan ortamlarda, uçucu külün arsenik giderim verimnin % 90 civarında olduğu bulunmuştur. Bu değer üzerinde suya ilave edilen uçucu kül ortamın pH değerini 10,5-11,5 aralığına getirerek çeşitli kimyasal reaksiyonlar meydana gelmesini sağlamaktadır. Bu reaksiyonlardan birininde uçucu külün yapısındaki demirli bileşikler ile sudaki mevcun arseniğin bileşik oluşturarak çözünmeyen formda süzülme yöntemiyle giderilmesidir. Suya ilave edilen 1 gr uçucu kül 200 dv/dk hızla 60 s çalkalandıktan sonra yaklaşık 10 dk çökelmeye bırakıldıktan sonra adi filtre ile süzülme işlemine tabi tutulmuştur. Çökelti şeklindeki arsenik bileşikleri de bu sayede sudan giderilmektedir. Çok uzun süzülmeden bekletilen uçucu külün arseniğin bir kısmını tekrar kustuğu gözlemlenmiştir. Bu çalışma sonucunda uçucu kül; h değerinin 3 ve üzerinde olduğu durumlarda arseniği % 90 verim ile giderdiğini ortaya koymuştur.

Çizelge 4.25: Uçucu kül çalışması

PARAMETRE	Ultra Safsu	GİRİŞ	TEKRAR SAYISI		
Giriş pH	6.0	Başlangıç	1	2	3
pH	11,67	7,78	11,33	11,31	11,31
İLETKENLİK (µS/cm)	1814	517	1289	1258	1258
BULANIKLIK (NTU)	14,63	2,63	6,25	7,03	7,74
ARSENİK (µg L^{-1})	8,681	120,00	26,00	18,14	12,95
% VERİM	-	-	78,33	84,88	89,21
YASAL SINIR (µg L^{-1})	10				
AĞIR METALLER	mg/L				
Zn	0,001	0,000	0,005	0,000	0,003
Fe	0,020	0,000	0,004	0,000	0,000
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cr	0,045	0,004	0,062	0,060	0,058
Ag	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Al	4,160	0,000	2,430	2,388	1,963
Ga	0,002	0,000	0,001	0,002	0,002
Li	0,055	0,230	0,314	0,314	0,310
Pb	0,000	0,003	0,001	0,000	0,000
Bi	0,005	0,000	0,007	0,000	0,004
Ni	0,005	0,016	0,007	0,007	0,007
Cu	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000
In	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
Cd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ba	0,134	0,064	0,099	0,096	0,091
Be	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Hg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Se	0,016	0,000	0,026	0,025	0,027
Sr	0,392	0,387	0,491	0,481	0,456
Ca	267,9	33,4	179,1	173,9	167,4
Mg	0,000	21,820	0,808	0,962	0,813
Na	1,28	51,11	52,67	53,46	53,25
K	1,47	10,68	12,49	12,48	12,38
B	1,256	1,927	1,981	2,005	1,945
ANYON-KATYON (mg L^{-1})			ORTALAMA		
F^-	0,2244	0,3397	0,1719		
Cl^-	1,4363	64,9604	12,2431		

NO_3^-	0,2590	3,4279	0,8080
SO_4^{2-}	74,5500	28,7516	79,6330
PO_4^{3-}	0,9838	0,0000	0,8882



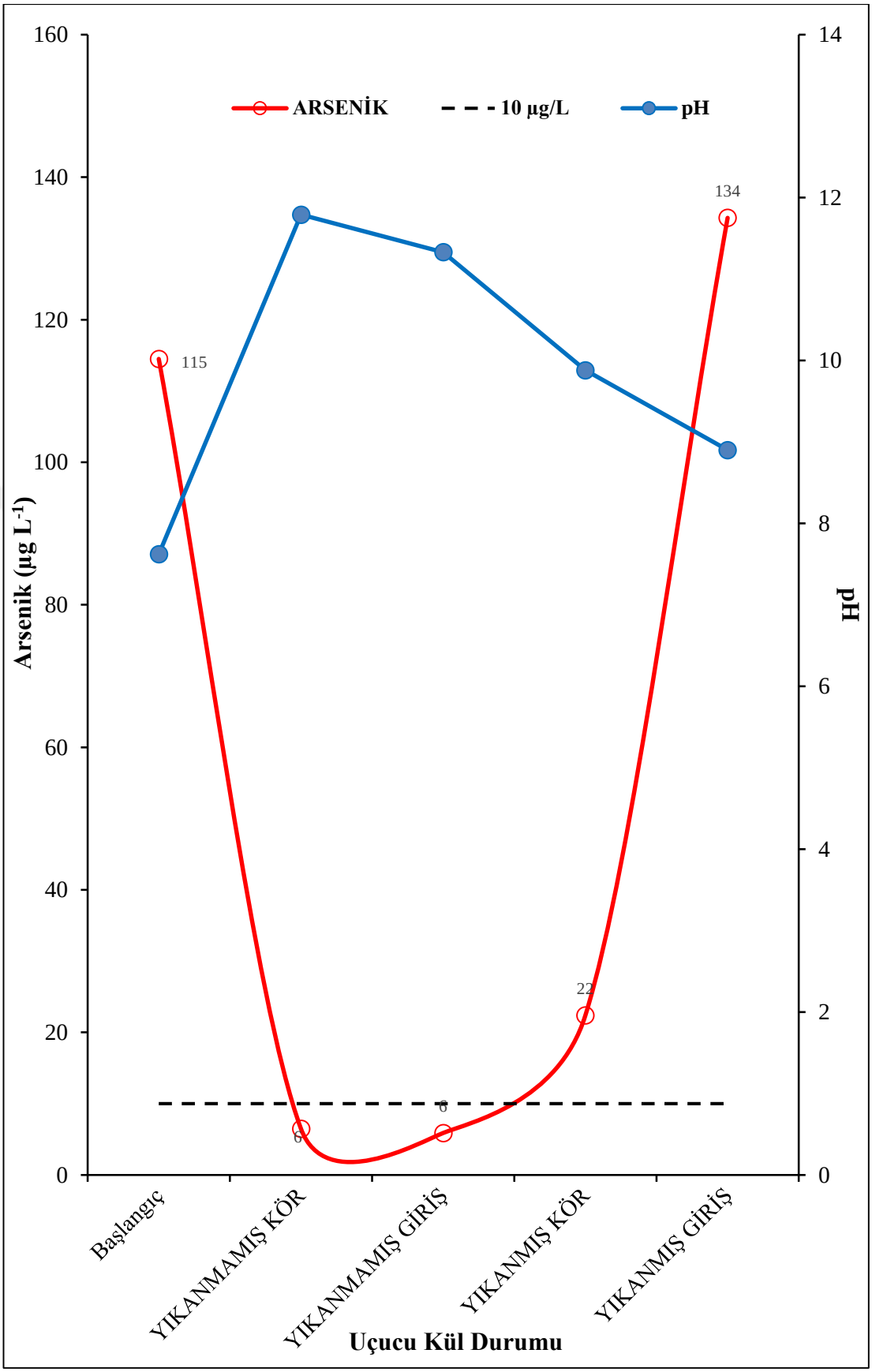
Şekil 4.24: 3 tekrarlı adsorpsiyon çalışması grafiği

Genel olarak bulunan optimum şartlar kullanılarak 3 tekrarlı uçucu kül çalışması yapılmıştır. Ağır metal, anyon katyon değerleri de yukarıdaki (şekil 4.25) gibidir.

Çizelge 4.26: yıkanan ve yıkanmayan uçucu kül adsorpsiyon çalışması

PARAMETRE	GİRİŞ	UÇUCU KÜL DURUMU			
		YIKANMAMIŞ KÖR	YIKANMAMIŞ GİRİŞ	YIKANMIŞ KÖR	YIKANMIŞ GİRİŞ
pH	7,62	11,79	11,33	9,88	8,90
İLETKENLİK (µS/cm)	514	2210	1089	79	566
BULANIKLIK (NTU)	0,63	11,37	3,33	9,18	6,62
ARSENİK (µg L^{-1})	114,5	6,46	5,88	22,40	134,30
% VERİM	-	94,36	94,87	80,44	-17,29
YASAL SINIR (µg L^{-1})	10				
AĞIR METALLER (mg L^{-1})					
Zn	0,000	0,000	0,000	0,008	0,004
Fe	0,000	0,044	0,000	0,283	0,470
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003
Cr	0,000	0,050	0,025	0,017	0,026
Ag	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002
Al	0,000	4,753	0,343	1,450	0,963
Ga	0,000	0,002	0,000	0,003	0,003
Li	0,222	0,059	0,278	0,007	0,222
Pb	0,003	0,000	0,000	0,001	0,003
Bi	0,000	0,002	0,000	0,006	0,005
Ni	0,015	0,004	0,008	0,006	0,019
Cu	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ba	0,066	0,159	0,062	0,007	0,044
Be	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000
Hg	0,007	0,063	0,000	0,000	0,000
Se	0,001	0,024	0,023	0,002	0,002
Sr	0,383	0,436	0,330	0,021	0,338
Ca	31,09	311,900	84,740	8,553	45,490
Mg	20,95	0,000	4,379	1,007	21,070
Na	52,54	2,882	55,910	1,797	53,230
K	10,97	1,742	12,590	0,276	10,810
B	2,064	1,358	1,922	0,823	1,866
ANYON-KATYON (mg L^{-1})					
F^-	0,175	1,0243	0,7984	0,0543	0,2573

Cl^-	69,39	13,865	67,415	0,2473	70,188
NO_3^-	2,712	0,8232	2,8146	0,2153	2,7062
SO_4^{2-}	30,25	433,49	306,30	10,551	48,582
PO_4^-	0,000	0,0000	1,6061	0,0000	0,0000

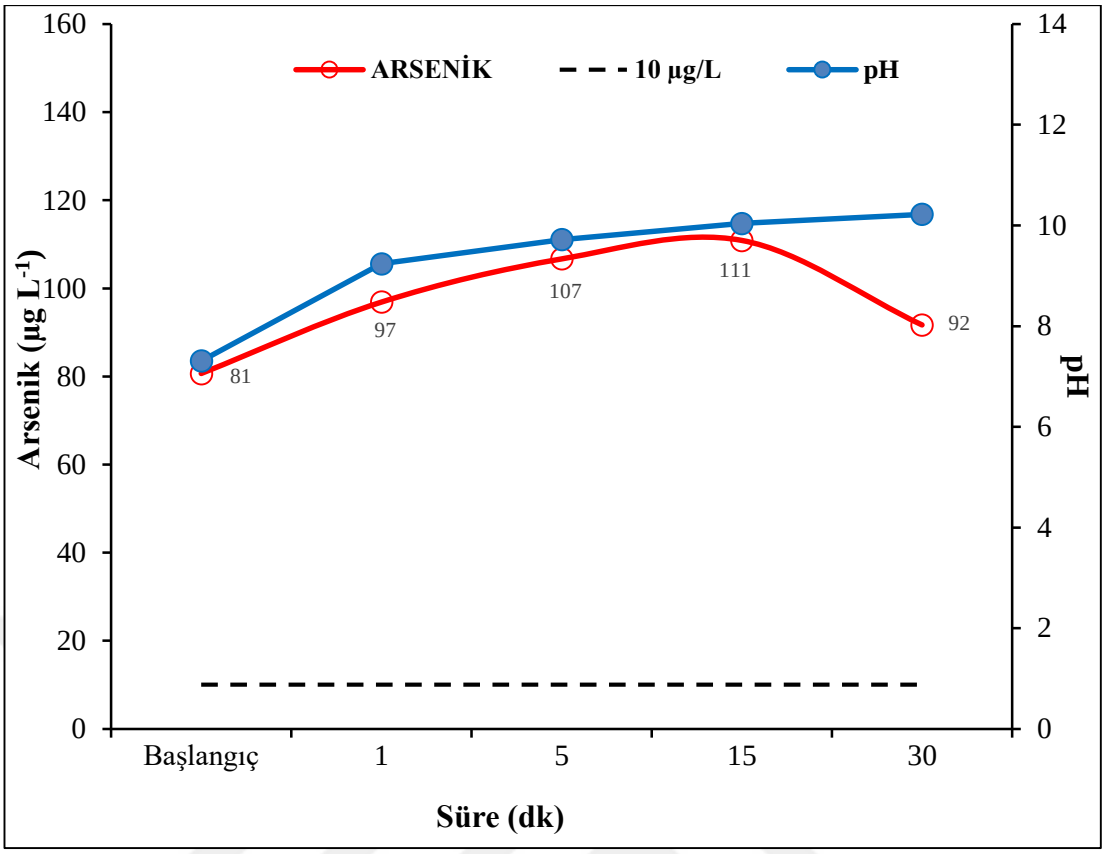


Şekil 4.25: yıkanmış ve yıkanmamış uçucu kül çalışması grafiği

Ultra safsu ile yıkanan ve hiçbir işleme tabi tutulmayan uçucu külün arsenik giderim verimleri, ultra safsuya eklenen yıkanmış ve yıkanmamış uçucu külün durumu incelenmiştir. Sonuç olarak giriş arsenik değeri 115 µg L^{-1} olan suya ilave edilen yıkanmamış uçucu külün (yıkanmamış giriş) arsenik giderim verimi% 95 civarında olurken, aynı şekilde uçucu kül ultra safsuya ilave edildiğinde (yıkanmamış kör) 6 µg L^{-1} civarında ortama arsenik saldığı bulunmuştur. Ultra safsu ile yıkanıp kurutulan uçucu kül ise görsel olarak değişikliğe uğramanın yanı sıra hiç arsenik giderim verimi elde edilememiştir. Bunun yanı sıra giriş suyuna ilaveten arsenik saldığı tespit edilmiştir (yıkanmış giriş). Yıkanmış uçucu kül ultra safsuya ilave edilerek (yıkanmış kör) yürütülen çalışmada da ortama 22µg L^{-1} civarında arsenik saldığı bulunmuştur.

Çizelge 4.27: Kullanılmış uçucu kül ile yapılan adsorpsiyon çalışması (süre; 60s hız; 200 dv/dk, doz; 1 gr)

PARAMETRE	GİRİŞ	SÜRE (dk)			
	Başlangıç	1	5	15	30
pH	7,31	9,24	9,72	10,04	10,22
İLETKENLİK (µS/cm)	1102	989	1067	1130	1143
BULANIKLIK (NTU)	0,68	1,78	2,22	4,77	9,64
ARSENİK (µg L^{-1})	80,67	96,89	106,70	110,90	91,70
% VERİM	-	-20,11	-32,27	-37,47	-13,67
YASAL SINIR (µg L^{-1})	10				
AĞIR METALLER (mg L^{-1})					
Zn	0,000	0,000	0,000	0,015	0,011
Fe	0,002	0,045	0,235	0,146	0,333
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Cr	0,004	0,028	0,059	0,113	0,135
Ag	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Al	0,000	0,756	0,930	1,007	0,678
Ga	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000
Li	0,273	0,318	0,326	0,333	0,335
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Bi	0,000	0,000	0,002	0,020	0,012
Ni	0,040	0,035	0,035	0,039	0,036
Cu	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
In	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ba	0,041	0,035	0,044	0,046	0,046
Be	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Hg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Se	0,004	0,024	0,027	0,027	0,024
Sr	0,679	0,422	0,423	0,389	0,372
Ca	79,59	60,05	71,26	80,17	88,90
Mg	59,12	56,13	55,87	55,09	49,38
Na	99,92	103,6	102,9	103,7	104,3
K	13,46	15,32	15,68	15,89	15,76
B	2,417	2,218	2,080	2,103	2,121

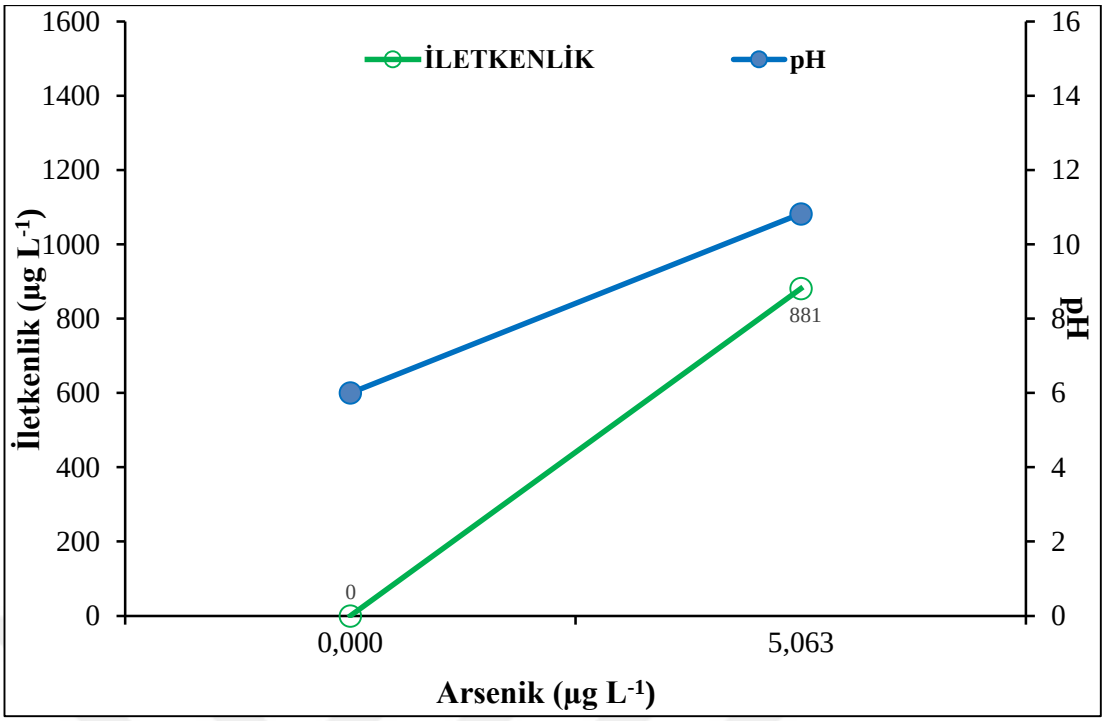


Şekil 4.26: Kurutulmuş uçucu kül ile yapılan adsorpsiyon çalışması grafiği

Daha önce arsenik gidermede çalışmalarında kullanılan uçucu kül, süzme işleminden sonra kurutularak tekrar yeni bir çalışmada kullanılmıştır. Yapılan çalışmada giriş konsantrayonu 80 µg L^{-1} civarında iken çıkış konsantrasyonlarının çok daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yani kullanılan uçucu külü geri kazanma çalışmaları sonuç vermemiş, tek kullanımlık olduğu bulunmuştur.

Çizelge 4.28: yıkanmış uçucu kül süzüntüsü çalışmaları (25 kez ultra safsu ile yıkanmış uçucu kül)

PARAMETRE	ULTRA SAFSU	SÜZÜNTÜ	
pH	6,000	10,820	
İLETKENLİK (µS L^{-1})	-	881	
ARSENİK (µg L^{-1})	-	5,063	
AĞIR METALLER (mg L^{-1})			FARK
Zn	0,000	0,000	**0,000**
Fe	0,000	0,032	**0,032**
Mn	0,000	0,000	**0,000**
Cr	0,000	0,053	**0,053**
Ag	0,000	0,000	**0,000**
Al	0,000	1,512	**1,512**
Ga	0,001	0,001	**0,000**
Li	0,006	0,044	**0,038**
Pb	0,000	0,000	**0,000**
Bi	0,000	0,000	**0,000**
Ni	0,003	0,008	**0,005**
Cu	0,000	0,000	**0,000**
In	0,000	0,000	**0,000**
Cd	0,000	0,000	**0,000**
Co	0,000	0,000	**0,000**
Ba	0,000	0,167	**0,167**
Be	0,001	0,000	**-0,001**
Hg	0,000	0,000	**0,000**
Se	0,000	0,000	**0,000**
Sr	0,000	0,790	**0,790**
Ca	0,000	192,100	**192,100**
Mg	0,000	1,053	**1,053**
Na	0,000	1,545	**1,545**
K	0,007	1,211	**1,204**
B	0,426	0,261	**-0,165**
ANYON-KATYON (mg L^{-1})			FARK
Cl^-	0	0,3106	**0,311**
NO_3^-	0	0,0766	**0,077**
SO_4^{2-}	0	542,11	**542,1**

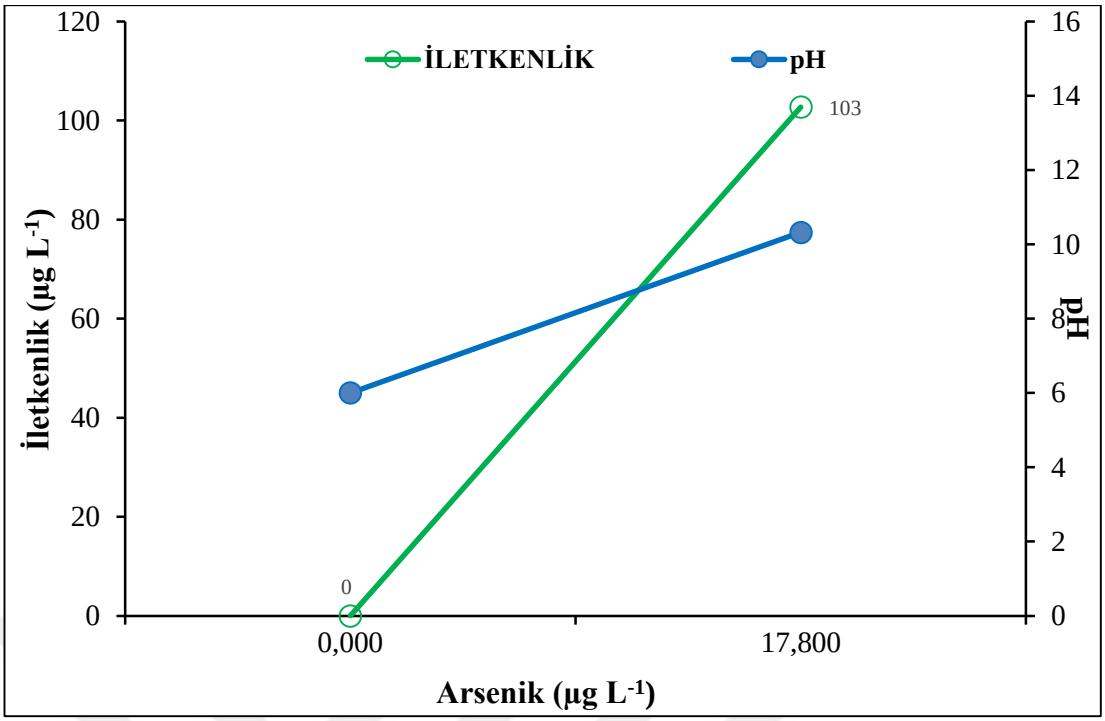


Şekil 13: Yıkanmış uçucu külün süzüntü çalışması

Yapılan bu çalışmada uçucu külün ultra safsu ile yıkanıp süzülmesi sonucunda verdiği tepki ve suya olan etkileri incelenmiştir. 25. Kez yıkanıp süzülen uçucu külün süzüntü suyunda gerçekleştirilen çalışma sonuçlarına göre ortama 5 µg L^{-1} civarında arsenik saldığı bunun yanı sıra demir, alüminyum, kalsiyum, magnezyum, sodyum, potasyum gibi ağır metalleri de ortama saldığı bulunmuştur.

Çizelge 4.29: 50. kez uçucu kül ile yıkanmış uçucu külün süzüntü su çalışması

PARAMETRE	ULTRA SAFSU	SÜZÜNTÜ	
pH	6,000	10,320	
İLETKENLİK (µS L^{-1})	-	103	
ARSENİK (µg L^{-1})	-	17,800	
AĞIR METALLER (mg L^{-1})			FARK
Zn	0,000	0,017	**0,017**
Fe	0,000	1,585	**1,585**
Mn	0,000	0,010	**0,010**
Cr	0,000	0,031	**0,031**
Ag	0,001	0,000	**-0,001**
Al	0,000	3,116	**3,116**
Ga	0,000	0,005	**0,005**
Li	0,006	0,008	**0,002**
Pb	0,000	0,008	**0,008**
Bi	0,000	0,013	**0,013**
Ni	0,005	0,016	**0,011**
Cu	0,000	0,000	**0,000**
In	0,003	0,000	**-0,003**
Cd	0,000	0,000	**0,000**
Co	0,000	0,000	**0,000**
Ba	0,000	0,013	**0,013**
Be	0,001	0,000	**-0,001**
Hg	0,000	0,000	**0,000**
Se	0,000	0,000	**0,000**
Sr	0,000	0,028	**0,028**
Ca	0,562	6,409	**5,847**
Mg	0,000	0,976	**0,976**
Na	0,000	1,420	**1,420**
K	0,027	0,473	**0,446**
B	2,738	2,800	**0,062**
ANYON-KATYON (mg L^{-1})			FARK
F^-	0	0,0668	**0,0668**
Cl^-	0	0,6106	**0,6106**
NO_3^-	0	0,1889	**0,1889**
SO_4^{2-}	0	2,37	**2,3730**



Şekil 4.28: 50. yıkama süzüntü çalışması grafiği

50. kez yıkanan uçucu kül ortamdan sürekli çözündüğünü, hacmin tamamının bitene kadar çözünme işleminin devam ettiğini ortaya koymuştur. Sonuç olarak uçucu kül uzun süre çalkalama ve süzülme işlemine tabi tutulduğunda sürekli çözülerek ortamdan uzaklaşmaktadır. Ortama saldığı arsenikte bu yolla gerçekleşmektedir. Aynı zamanda ortama birçok ağır metal ve anyon katyonuda salmaktadır.

Arsenik gideim çalışmaları çoğunlukla Aksaray ili içme suyu arıtma tesisi girişinden alınan su ya da laboratuvar ortamında ultra saf suya arsenik ilavesi ile elde edilen sentetik su ile yapılmıştır. Bu çalışmalara ek olarak Aksaray Belediyesi keson kuyusundan alınan numune ile de gerçekleştirilen arsenik ve ağır metal çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.30: Keson kuyu arsenik ve ağır metal belirleme çalışması

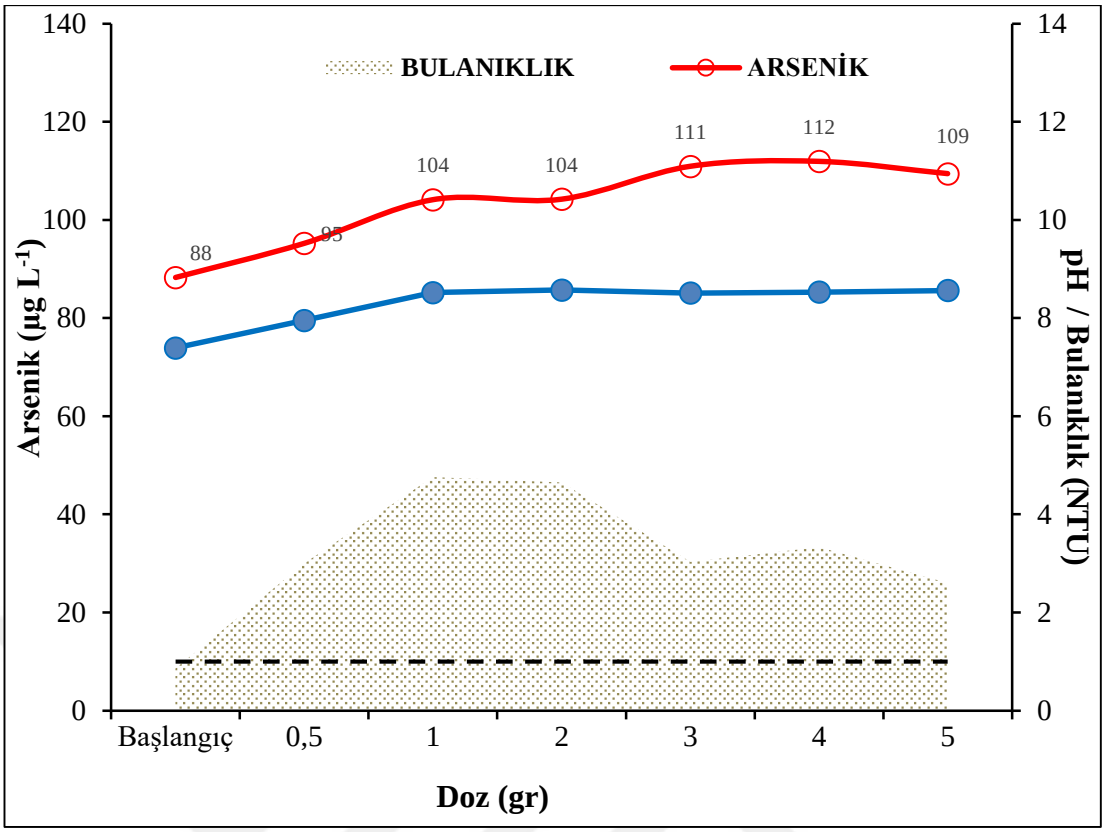
PARAMETRE	**KESON KUYU**
ARSENİK (µg L^{-1})	53,39
AĞIR METALLER (mg L^{-1})	
Zn	0,000
Fe	0,352
Mn	0,015
Cr	0,073
Ag	0,000
Al	0,000
Ga	0,000
Li	0,281
Pb	0,000
Bi	0,001
Ni	0,244
Cu	0,000
In	0,000
Cd	0,000
Co	0,000
Ba	0,043
Be	0,000
Hg	0,000
Se	0,001
Sr	0,688
Ca	77,90
Mg	58,97
Na	99,20
K	13,21
B	2,769

500 ml keson kuyu sularına uçucu kül ilave edilerek, hızlı karıştırma süresi 75 s, hızı 150 dv/dk, yavaş karıştırma süresi 60 s, hızı 45 dv/dk, çökelme süresi 30 dk olarak gerçekleştirilen adsorpsiyon çalışması. Bu çalışmada arsenik giderim verimleri elde edilememiştir.

Çizelge 4.31: Uçucu kül ile yapılan adsorpsiyon çalışması

PARAMETRE	GİRİŞ	DOZ (gr)					
	Başlangıç	0,5	1	2	3	4	5
pH	7,39	7,95	8,52	8,57	8,51	8,53	8,56
İLETKENLİK (µS/cm)	1094	1187	1122	1157	1129	1132	1128
BULANIKLIK (NTU)	0,86	3,00	4,76	4,65	3,03	3,33	2,60
ARSENİK (µg L^{-1})	88,26	95,21	104,10	104,20	110,90	111,90	109,40
% VERİM	0,00	-7,87	-17,95	-18,06	-25,65	-26,78	-23,95
YASAL SINIR (µg L^{-1})	10						
AĞIR METALLER (mg L^{-1})							
Zn	0,000	0,009	0,003	0,000	0,001	0,016	0,005
Fe	0,000	0,110	0,191	0,133	0,123	0,102	0,155
Mn	0,000	0,012	0,016	0,005	0,006	0,002	0,002
Cr	0,003	0,024	0,027	0,069	0,031	0,034	0,040
Ag	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Al	0,000	0,295	0,475	0,560	0,679	0,710	0,869
Ga	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Li	0,282	0,288	0,297	0,314	0,322	0,334	0,343
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Bi	0,000	0,011	0,005	0,002	0,003	0,016	0,007
Ni	0,042	0,057	0,057	0,051	0,094	0,057	0,063
Cu	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
In	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Co	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ba	0,041	0,061	0,068	0,057	0,058	0,055	0,055
Be	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hg	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Se	0,001	0,004	0,001	0,010	0,015	0,019	0,022
Sr	0,662	0,666	0,695	0,618	0,589	0,579	0,559
Ca	78,66	100,6	114,0	93,93	87,35	87,73	84,75
Mg	62,85	62,69	61,86	61,17	62,05	63,00	64,40
Na	99,77	100,7	100,6	101,4	101,2	103,2	103,0

K	13,56	14,13	14,32	14,54	14,79	15,34	15,83
B	1,651	1,634	1,617	1,649	1,650	1,660	1,696



Şekil 4.29: Uçucu külle yapılan adsorpsiyon çalışması grafiği

Bu çalışma sonuçları uçucu külün her tür suda etkili olmadığını ortaya koymuştur. Keson kuyulardan alınan suyun içeriğinden kaynaklı olduğu düşünülen şartlardan dolayı arsenik giderim verimi sağlanamamış aksine ortama bir miktar arsenik salınmıştır. Arseniğin yanında birçok ağır metalde ortama geçmiştir. Bu çalışma ile birlikte uçucu kül çalışmaları da sonlandırılmıştır.

4.5 Modelleme Çalışması

Demir klorür çalışmalarından türetilen modelleme çalışması sonuçları ve grafiği ile demir sülfat çalışmalarından türetilen modelleme çalışması sonuçları ve grifiği ekler bölümünde verilmiştir. Sonuç olarak yapılan çalışmalar sonucu türetilen modellerde %95 üzerinde doğruluk bulunmuştur. Özellikle de demir sülfat çalışmalarından türetilen modelde r^2 1'e çok yakındır. Optimum olarak belirlenen parametrelerde bu modellerde yerlerine konularak modellerin gerçeğe çok yakın olduğu ve doğruluk payının yüksek olduğu tespit edilmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın amacı, birden fazla yöntem kullanılarak, arsenik gidermek ve kullanılan yöntemlerin avantajları ile dezavantajlarını ortaya koymaktır. Kullanılan yöntemler; kimyasal çöktürme, adsorpsiyon ve uçucu kül ile arsenik giderimi yer almaktadır. Kimyasal çöktürmede demir klorür ($FeCl_3$) ve demir sülfat ($FeSO_4$) kullanılmıştır. Demir sülfata yardımcı olarakta kireç ($CaOH_2$) kullanılmıştır. Adsorpsiyon yöntemi için kullanılan maddeler ise çoğunluğu Aksaray civarında rahatlıkla bulunabilen pomza ve tüflerden oluşmaktadır. Doğantarla'dan alınan pomzalara demir kaplaması yapılarak ayrıca kullanılmıştır. Çalışmalarda kullanılan uçucu kül ise Kahramanmaraş Elbistan Termik Santrali'nden temin edilmiştir. Çalışmalar, Aksaray iline içme suyu sağlayan arıtma tesisinden alınan ve içeriğinde mevsimsel şartlara göre değişkenlik gösteren arsenik içerikli su ile gerçekleştirilmiştir. Havalandırma işlemine tabi tutulduğundan, genellikle sudaki arsenik As^{5+} formundadır.

Kimyasal çöktürme çalışmalarında, demir klorür bileşikli stok çözelti kullanıldığında, arsenik giderim veriminin yaklaşık % 95'in üzerinde olduğu belirlenmiştir. En düşük maliyetlerde giderim sağlamak için, stok çözeltiden kullanılan doz miktarı çalışması, hızlı ve yavaş karıştırma işlemlerinin süre ile hız parametrelerinin belirlenmesi çalışmaları araştırılmıştır. Demir sülfat içerikli stok çözeltilerle gerçekleştirilen, arsenik giderim çalışmalarında ise demir sülfatın tek başına kullanımında verimin düşük, yardımcı koagülant olarak kireç kullanıldığında ise verimin yaklaşık % 95 seviyesinin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Maliyeti düşürmek için, doz, kireç dozu, hızlı ve yavaş karıştırma süreleri ile hızların en uygun olduğı şartlar araştırılmıştır. Yapılan adsorpsiyon çalışmalarında; kullanılan çeşitli adsorbanların giderim üzerine etkileri, maliyetleri ve demir kaplı olup olmadıkları, yıkanıp yıkanmamalarının etkileri incelenmiştir. Uçucu kül çalışmasında ise, adsorban madde gibi kullanılan uçucu külün, suya olan etkileri, tekrar kullanılabilirliği, pH'ın etkisi, doz etkileri, çalkalama süre ve hız çalışmaları incelenmiştir.

Kimyasal çöktürme için yapılan çalışmalarda, arseniği tapamemn giderebilecek dozlar yerine, yasal sınır değeri oaln, 10 µgr L^{-1}'in altına düşmesini sağlayacak şartlar

incelenmiştir. Demirli bileşiklere hücum eden arsenik, çöktürme yöntemi ile giderilmiştir. Bu sistemde, arsenik giderim verimleri istenilen seviyelerdedir. Ancak, bu yöntemlerde harcanan enerji miktarı, kullanılacak kimyasal madde miktarı ve çökelen tortuları sudan ayırabilmek için gerekli, filtraysn sistemi, ek maliyet yükü oluşturmaktadır. Demir klorürün kullanıldığı çöktürme işlemlerinde, yardımcı koagülant madde gerekmediği için bir avantaj oluşturmaktadır, ayrıca demir klorürün kullanıldığı arıtma sisteminde, suyun bulanıklığı az denecek kadar azdır. Demir sülfat kullanılan sistemlerde, yardımcı koagülant olarak, kirecin kullanılması ilave maliyet yükü oluşturmaktadır ve suyun bulanıklığı, istenilen düzeyin çok üzerindedir. Bulanıklığı gidermek için, ilave filtrasyon sistemi gerekmektedir buda maliyeti önemli ölçüde arttırdığından dezavantaj oluşturmaktadır. Ancak klorürlü çalışmalara göre, daha düşük dozda sülfatlı bileşik kullanılması, karıştırma hızının daha düşük olmasıda, bu yöntemin avantajlarını oluşturmaktadır.

Adsorpsiyon çalışmalarında; Aksaray ili civarından temin edilen; Topakkaya, Doğantarla ve Taşpınar pomzaları, Belisırma tüfü, zeolit, demirle kaplanmış Doğantarla pomzası ve bunlara ilaveten uçucu kül adsorban madde olarak kullanılmıştır. Yapılan çalışmalara göre pomza, tüf ve zeolitlerin, arsenik giderim verimleri yaklaşık %10'u geçememiştir. Ayrıca pomzalar, ultra safsu ile yıkanıp kurutulduktan sonra da çalışmalar yapılmış, fakat sonuç yine değişmemiştir. Demir kaplı pomza çalışmasında ise, verim yaklaşık olarak %75 civarındadır. Yüzeydeki kaplı olan demir miktarı verimi etkilemektedir. Demir kaplamanın zorluğu ve maliyeti göz önünde bulundurulduğunda, bu yöntemin tercih edilmemesine kara verilmiştir. Adsorban madde gibi kullanılan uçucu külde ise verim, yaklaşık % 95'in üzerlerindedir. Yapılan süre çalışmaları, uçucu külün, adsorpsiyonda olduğu gibi yüzeyine tutarak giderme değil de, yapısındaki demir kökenli bileşiklerle, arseniğin bağ kurması sonucu giderdiği belirlenmiştir. Uçucu külün dezavantajları arasında ise, bir kısmının suda çözünmesi, yapısında yüksek seviyelerde arsenik ve diğer birçok ağırmetal bulundurması belirlenmiştir.

Dünya'nın farklı bölgelerinde, içme sularında doğal ya da antropajenik kaynaklı olarak bulunabilen arsenik, insanlar için önemli bir tehdit unsuru oluşturmaktadır. Farklı pH'larda ve yer altı ile yeryüzeyi faktöründen kaynaklı arsenik formları genellikle, As^{3+} ve As^{5+} şeklindedir. Arseniği gidermek için kullanılan yöntemlerin en

yaygınlarından olan; kimyasal çöktürme, adsorpsiyon ile günümüzde yeni bir arıtım metodu olan uçucu kül bu çalışmada incelenmiştir.

Temin edebilme süreleri ve maliyet, suya olan etkileri ile arıtım verimleri incelenmiştir. İçme suyu arıtımında, diğer birçok yöntemlere göre demir klorür, demir sülfat kullanılan kimyasal çöktürme işlemi daha ucuz ve kolay bir yöntemdir. Bunun yanı sıra, uçucu külde arsenik gidermede kullanılabilecek düşük maliyetli bir yöntemdir. Zaten atık olan uçucu külün, içme suyundan arsenik arıtımında kullanıldıktan sonra depolanması, ekonomik açıdan önemli bir unsurdur ve bu yöntem, uygun yönlendirmelerle teşvik edilmelidir.

KAYNAKLAR

1. Altaş, L., M. Işık, and M. Kavurmacı, *Determination of arsenic levels in the water resources of Aksaray Province, Turkey.* Journal of environmental management, 2011. **92**(9): p. 2182-2192.
2. Control, C.f.D., *Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR).* ToxFAQsfor (various constituents of potential concern), atsdr. cdc. gov/tfacts.
3. Çalışkan, M.B. and P. Ayşegül, *İçme Sularında Arsenik Kirliliği: Ülkemiz Açısından BirDeğerlendirme.* Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2009. **15**(1): p. 69-79.
4. Parsons, S.A. and B. Jefferson, *Introduction to potable water treatment processes*. 2006: Blackwell Publishing.
5. Mohan, D. and C.U. Pittman, *Arsenic removal from water/wastewater using adsorbents—a critical review.* Journal of hazardous materials, 2007. **142**(1): p. 1-53.
6. Wang, Y., et al., *Removal of As (III) and As (V) by ferric salts coagulation–Implications of particle size and zeta potential of precipitates.* Separation and Purification Technology, 2014. **135**: p. 64-71.
7. Wang, S. and C.N. Mulligan, *Occurrence of arsenic contamination in Canada: sources, behavior and distribution.* Science of the Total Environment, 2006. **366**(2): p. 701-721.
8. Shih, M.-C., *An overview of arsenic removal by pressure-drivenmembrane processes.* Desalination, 2005. **172**(1): p. 85-97.
9. Smedley, P. and D. Kinniburgh, *A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters.* Applied geochemistry, 2002. **17**(5): p. 517-568.
10. Bissen, M. and F.H. Frimmel, *Arsenic—a review. Part I: occurrence, toxicity, speciation, mobility.* Acta hydrochimica et hydrobiologica, 2003. **31**(1): p. 9-18.
11. Angency, U.E.P., *Arsenic Treatment Technologies for Soil, Waste and Water*. 2002, EPA-542-R-02-004, Washington DC.
12. Roy, P. and A. Saha, *Metabolism and toxicity of arsenic: A human carcinogen.* Current Science, 2002. **82**(1): p. 38-45.
13. Zhang, G.-S., et al., *Removal mechanism of As (III) by a novel Fe-Mn binary oxide adsorbent: oxidation and sorption.* Environmental science & technology, 2007. **41**(13): p. 4613-4619.
14. Chen, Y., et al., *Toxic effect of inorganic arsenite [As (III)] on metabolic activity of Bacillus subtilis by combined methods.* Current Microbiology, 2008. **57**(3): p. 258-263.
15. Kartinen, E.O. and C.J. Martin, *An overview of arsenic removal processes.* Desalination, 1995. **103**(1): p. 79-88.
16. Nriagu, J., et al., *Arsenic in soil and groundwater: an overview.* Trace Metals and other Contaminants in the Environment, 2007. **9**: p. 3-60.
17. Henke, K., *Arsenic: environmental chemistry, health threats and waste treatment*. 2009: John Wiley & Sons.

18. Yenial, Ü., *Sulardan Arseniğin Giderilmesi*. 2012, Fen Bilimleri Enstitüsü.
19. Yılmaz, O. and K. Ekici, *Van yöresinde içme sularında arsenikle kirlenme düzeyleri.* Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 2004. **15**(1): p. 47-51.
20. Abdul, K.S.M., et al., *Arsenic and human health effects: A review.* Environmental toxicology and pharmacology, 2015. **40**(3): p. 828-846.
21. Mólgora, C.C., et al., *Removal of arsenic from drinking water: A comparative study between electrocoagulation-microfiltration and chemical coagulation-microfiltration processes.* Separation and Purification Technology, 2013. **118**: p. 645-651.
22. Gray, N.F., *Drinking water quality: problems and solutions*. 2008: Cambridge University Press.
23. Eroğlu, V., *Su tasfiyesi*. 2008: Çevre ve Orman Bakanlığı Yayını.
24. Alpaslan, M.N., et al., *İçme suyundan kimyasal yöntemlerle arsenik giderimi.* İTÜDERGİSİ/e, 2010. **20**(1).
25. Spellman, F.R., *Handbook of water and wastewater treatment plant operations*. 2013: CRC Press.
26. Amini, A., et al., *Environmental and Economic Sustainability of Ion Exchange Drinking Water Treatment for Organics Removal.* Journal of Cleaner Production, 2015.
27. Choong, T.S., et al., *Arsenic toxicity, health hazards and removal techniques from water: an overview.* Desalination, 2007. **217**(1): p. 139-166.
28. Johnston, R., H. Heijnen, and P. Wurzel, *1 Chapter 6: Safe Water Technology.* 2001.
29. Harisha, R., et al., *Arsenic removal from drinking water using thin film composite nanofiltration membrane.* Desalination, 2010. **252**(1): p. 75-80.
30. Alyüz, B. and V. Sevil, *Low-cost adsorbents used in heavy metal contaminated waste water treatment.* Sigma, 2005: p. 3.
31. ÖztelL, M.D. and F. Akbal, *Traditional And Alternative Technologies For Arsenic Removal From Drinking Waters.* Sigma, 2013. **31**: p. 386-408.
32. Davis, M.L., *Water and wastewater engineering*. 2010: McGraw-Hill.
33. Song, S., et al., *Arsenic removal from high-arsenic water by enhanced coagulation with ferric ions and coarse calcite.* Water Research, 2006. **40**(2): p. 364-372.
34. MWH, W.T., *Principles and Design.* John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, New Jersey, 2005.
35. Şahin, S., *Su Arıtma Teknolojisindeki Kolloidlerin KArarlılık Esasları The Fundamentals Of The Stability Of Colloids In The Water Treatment Technology*.
36. Instruments, M., *Zeta potential: An Introduction in 30 minutes.* Zetasizer Nano Serles Technical Note. MRK654-01, 2011.
37. Srinivasan, S., et al., *Characterising cement–superplasticiser interaction using zeta potential measurements.* Construction and Building Materials, 2010. **24**(12): p. 2517-2521.
38. Carty, G., G. O'Leary, and M. Crowe, *Water Treatment Manuals: Coagulation, Flocculation and Clarification.* Environmental Protection Agency, 85p, ISBN-10, 2002.
39. Zane Satterfield, P., *Jar Testing.*
40. Association, A.W.W., *Operational control of coagulation and filtration processes*. Vol. 37. 1992: AWWA.

41. Woodard, F., *Industrial waste treatment handbook*. 2001: Butterworth-Heinemann.
42. Acartürk, F., et al., *Modern Farmasötik Teknoloji.* Türk Eczacılar Birliği Yayını, 2006.
43. Gupta, S.S. and K.G. Bhattacharyya, *Kinetics of adsorption of metal ions on inorganic materials: A review.* Advances in Colloid and Interface Science, 2011. **162**(1): p. 39-58.
44. Shukla, E.A., et al., *Arsenate Adsorption on Iron Modified Artificial Zeolite Made from Coal Fly Ash.* Procedia Environmental Sciences, 2013. **17**: p. 279-284.
45. Bajpai, A. and M. Rajpoot, *Adsorption techniques—a review.* J. Sci. Ind. Res, 1999. **58**: p. 844-860.
46. Václavíková, M., et al., *Water treatment technologies for the removal of high-toxity pollutants*. 2009: Springer Science & Business Media.
47. Vaclavikova, M., et al., *Water treatment technologies for the removal of high-toxity pollutants. NATO Security through science series C: Environmental Security*. 2009, Springer, NewYork.
48. Ungureanu, G., et al., *Arsenic and antimony in water and wastewater: Overview of removal techniques with special reference to latest advances in adsorption.* Journal of environmental management, 2015. **151**: p. 326-342.
49. Rau, I., A. Gonzalo, and M. Valiente, *Arsenic (V) adsorption by immobilized iron mediation. Modeling of the adsorption process and influence of interfering anions.* Reactive and functional polymers, 2003. **54**(1): p. 85-94.
50. Kumar, P.S., et al., *Arsenic adsorption by iron–aluminium hydroxide coated onto macroporous supports: Insights from X-ray absorption spectroscopy and comparison with granular ferric hydroxides.* Journal of hazardous materials, 2016. **302**: p. 166-174.
51. Öztürk, M., A. Polat, and Ş. Aslan, *İçme sularında Arsenik Kirlenmesi.*.
52. Bibi, S., et al., *Evaluation of industrial based adsorbents for simultaneous removal of arsenic and fluoride from drinking water*. Journal of Cleaner Production, 2015. **87**: p. 882-896.
53. Mıhçıroğlu, H., *Atıksulardan Cr 6+ İyonunun Sentetik Ve Doğal Maddeler Kullanılarak Adsorpsiyonla Giderimi*, in *Science İnstitute*. 2009, Erciyes University: Kayseri.
54. Erdem, E., *Doğal Adsorban Olarak Tüf (Doğantarla-Aksaray) İle Sulardan Ağır Metal Gideriminin İncelenmesi*, in *Science Institute*. 2014, Aksaray University: Aksaray.
55. Elwakeel, K.Z. and E. Guibal, *Arsenic (V) sorption using chitosan/Cu(OH)$_2$ and chitosan/CuO composite sorbents.* Carbohydrate polymers, 2015. **134**: p. 190-204.
56. Erdoğan, Y.A., *Atıksulardan Çeşitli Adsorbanlarla Arsenik Giderimi*. 2015.
57. Baran, E. and K.A. Dalı, *Tekli Ve İkili Sistemde Zeolit Yüzeyine Malachite Green Ve Rhodamine B'nin Adsorpsiyonunun Araştırılması*. 2012.

EKLER

EK.A

EK.A.1: Demir klorür modelleme çalışması

Dozaj	Hızlı Karıştırma		Yavaş Karıştırma		Verim (% E)	
	Süre (s)	Hız (dvr/dk)	Süre (s)	Hız (dvr/dk)		
1	30	200	300	30	90,6995	90,849
1	45	200	300	30	88,2843	88,464
1	60	200	300	30	85,8691	86,079
1	75	200	300	30	83,454	83,694
1	90	200	300	30	81,0388	81,309
1	120	200	300	30	18,7788	76,539
1	75	90	300	30	86,1046	83,694
1	75	120	300	30	85,3817	83,694
1	75	150	300	30	84,6588	83,694
1	75	230	300	30	82,7311	83,694
1	75	200	120	30	86,8046	86,934
1	75	200	180	30	85,6877	85,854
1	75	200	240	30	84,5708	84,774
1	75	200	450	30	80,6617	80,994
1	75	200	300	15	83,1964	83,694
1	75	200	300	45	83,7115	83,694
1	75	200	300	60	83,969	83,694
2,5	30	200	300	30	91,8287	91,9785
2,5	45	200	300	30	89,4135	89,5935
2,5	60	200	300	30	86,9983	87,2085
2,5	75	200	300	30	84,5831	84,8235
2,5	90	200	300	30	82,1679	82,4385
2,5	120	200	300	30	54,0821	77,6685
2,5	75	90	300	30	87,2337	84,8235
2,5	75	120	300	30	86,5108	84,8235
2,5	75	150	300	30	85,7879	84,8235
2,5	75	230	300	30	83,8602	84,8235
2,5	75	200	120	30	87,9338	88,0635
2,5	75	200	180	30	86,8169	86,9835
2,5	75	200	240	30	85,7	85,9035
2,5	75	200	450	30	81,7909	82,1235
2,5	75	200	300	15	84,3256	84,8235
2,5	75	200	300	45	84,8406	84,8235
2,5	75	200	300	60	85,0982	84,8235
5	30	200	300	30	93,7106	93,861
5	45	200	300	30	91,2954	91,476
5	60	200	300	30	88,8803	89,091
5	75	200	300	30	86,4651	86,706
5	90	200	300	30	84,0499	84,321
5	120	200	300	30	85,0828	79,551
5	75	90	300	30	89,1157	86,706

5	75	120	300	30	88,3928	86,706
5	75	150	300	30	87,6699	86,706
5	75	230	300	30	85,7422	86,706
5	75	200	120	30	89,8157	89,946
5	75	200	180	30	88,6988	88,866
5	75	200	240	30	87,582	87,786
5	75	200	450	30	83,6729	84,006
5	75	200	300	15	86,2076	86,706
5	75	200	300	45	86,7226	86,706
5	75	200	300	60	86,9801	86,706
6	30	200	300	30	94,4634	94,614
6	45	200	300	30	92,0482	92,229
6	60	200	300	30	89,633	89,844
6	75	200	300	30	87,2179	87,459
6	90	200	300	30	84,8027	85,074
6	120	200	300	30	89,2875	80,304
6	75	90	300	30	89,8685	87,459
6	75	120	300	30	89,1456	87,459
6	75	150	300	30	88,4227	87,459
6	75	230	300	30	86,495	87,459
6	75	200	120	30	90,5685	90,699
6	75	200	180	30	89,4516	89,619
6	75	200	240	30	88,3347	88,539
6	75	200	450	30	84,4256	84,759
6	75	200	300	15	86,9603	87,459
6	75	200	300	45	87,4754	87,459
6	75	200	300	60	87,7329	87,459
7	30	200	300	30	80,6695	95,367
7	45	200	300	30	87,0446	92,982
7	60	200	300	30	87,1638	90,597
7	75	200	300	30	94,3145	88,212
7	90	200	300	30	94,1925	85,827
7	120	200	300	30	93,7744	81,057
7	75	90	300	30	89,0045	88,212
7	75	120	300	30	89,3478	88,212
7	75	150	300	30	93,1581	88,212
7	75	230	300	30	86,4192	88,212
7	75	200	120	30	94,2984	91,452
7	75	200	180	30	95,3386	90,372
7	75	200	240	30	94,6214	89,292
7	75	200	450	30	95,0578	85,512
7	75	200	300	15	90,7623	88,212
7	75	200	300	45	92,1547	88,212
7	75	200	300	60	88,057	88,212
8	30	200	300	30	95,9689	96,12
8	45	200	300	30	93,5538	93,735
8	60	200	300	30	91,1386	91,35

8	75	200	300	30	88,7234	88,965
8	90	200	300	30	86,3082	86,58
8	120	200	300	30	94,6133	81,81
8	75	90	300	30	91,374	88,965
8	75	120	300	30	90,6511	88,965
8	75	150	300	30	89,9282	88,965
8	75	230	300	30	88,0005	88,965
8	75	200	120	30	92,0741	92,205
8	75	200	180	30	90,9572	91,125
8	75	200	240	30	89,8403	90,045
8	75	200	450	30	85,9312	86,265
8	75	200	300	15	88,4659	88,965
8	75	200	300	45	88,9809	88,965
8	75	200	300	60	89,2384	88,965
9	30	200	300	30	96,7217	96,873
9	45	200	300	30	94,3065	94,488
9	60	200	300	30	91,8914	92,103
9	75	200	300	30	89,4762	89,718
9	90	200	300	30	87,061	87,333
9	120	200	300	30	95,1191	82,563
9	75	90	300	30	92,1268	89,718
9	75	120	300	30	91,4039	89,718
9	75	150	300	30	90,681	89,718
9	75	230	300	30	88,7533	89,718
9	75	200	120	30	92,8269	92,958
9	75	200	180	30	91,71	91,878
9	75	200	240	30	90,5931	90,798
9	75	200	450	30	86,684	87,018
9	75	200	300	15	89,2187	89,718
9	75	200	300	45	89,7337	89,718
9	75	200	300	60	89,9912	89,718
10	30	200	300	30	97,4745	97,626
10	45	200	300	30	95,0593	95,241
10	60	200	300	30	92,6441	92,856
10	75	200	300	30	90,229	90,471
10	90	200	300	30	87,8138	88,086
10	120	200	300	30	95,2935	83,316
10	75	90	300	30	92,8796	90,471
10	75	120	300	30	92,1567	90,471
10	75	150	300	30	91,4338	90,471
10	75	230	300	30	89,5061	90,471
10	75	200	120	30	93,5796	93,711
10	75	200	180	30	92,4627	92,631
10	75	200	240	30	91,3459	91,551
10	75	200	450	30	87,4368	87,771
10	75	200	300	15	89,9715	90,471
10	75	200	300	45	90,4865	90,471

10	75	200	300	60	90,744	90,471
20	30	200	300	30	99,9999	99,9999
20	45	200	300	30	99,9999	99,9999
20	60	200	300	30	99,9999	99,9999
20	75	200	300	30	97,7568	98,001
20	90	200	300	30	95,3416	95,616
20	120	200	300	30	95,3661	90,846
20	75	90	300	30	99,9999	98,001
20	75	120	300	30	99,6845	98,001
20	75	150	300	30	98,9616	98,001
20	75	230	300	30	97,0339	98,001
20	75	200	120	30	99,9999	99,9999
20	75	200	180	30	99,9905	99,9999
20	75	200	240	30	98,8737	99,081
20	75	200	450	30	94,9645	95,301
20	75	200	300	15	97,4992	98,001
20	75	200	300	45	98,0143	98,001
20	75	200	300	60	98,2718	98,001
50	30	200	300	30	99,9999	99,9999
50	45	200	300	30	99,9999	99,9999
50	60	200	300	30	99,9999	99,9999
50	75	200	300	30	99,9999	99,9999
50	90	200	300	30	99,9999	99,9999
50	120	200	300	30	99,9999	99,9999
50	75	90	300	30	99,9999	99,9999
50	75	120	300	30	99,9999	99,9999
50	75	150	300	30	99,9999	99,9999
50	75	230	300	30	99,9999	99,9999
50	75	200	120	30	99,9999	99,9999
50	75	200	180	30	99,9999	99,9999
50	75	200	240	30	99,9999	99,9999
50	75	200	450	30	99,9999	99,9999
50	75	200	300	15	99,9999	99,9999
50	75	200	300	45	99,9999	99,9999
50	75	200	300	60	99,9999	99,9999

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	83,543	,659		126,838	,000
	Doz	,753	,036	,847	20,646	,000
2	(Constant)	95,107	1,947		48,841	,000
	Doz	,753	,033	,847	22,856	,000
	Hsüre	-,158	,025	-,231	-6,237	,000
3	(Constant)	100,266	2,777		36,104	,000
	Doz	,753	,032	,847	23,235	,000
	Hsüre	-,159	,025	-,233	-6,388	,000

	Ysüre	-,018	,007	-,094	-2,566	,011

a. Dependent Variable: Arsenik

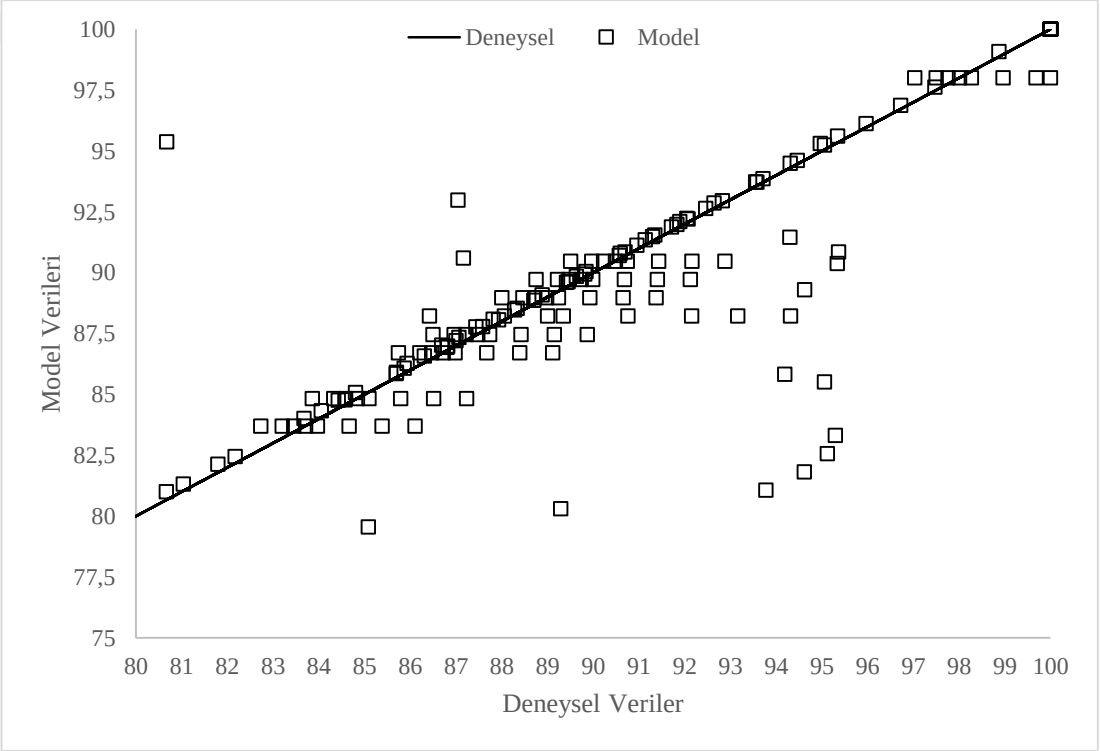
Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,847[a]	,717	,716	6,4811464
2	,878[b]	,771	,768	5,8543992
3	,883[c]	,779	,775	5,7589237

a. Predictors: (Constant), Doz

b. Predictors: (Constant), Doz, Hsüre

c. Predictors: (Constant), Doz, Hsüre, Ysüre

EK.A.2: Demir klorür çalışması grafiği



EK.B

EK.B.1: Demir sülfat modelleme çalışması

Dozaj	Hızlı Karıştırma		Yavaş Karıştırma		Kireç Dozu (g)	Verim (% E)
	Süre (s)	Hız (dvr/dk)	Süre (s)	Hız (dvr/dk)		
1	30	200	300	30	0,1	71,1162
1	45	200	300	30	0,1	71,8813
1	60	200	300	30	0,1	72,6464
1	75	200	300	30	0,1	73,4115
1	90	200	300	30	0,1	74,1766
1	105	200	300	30	0,1	74,9417
1	120	200	300	30	0,1	53,6587
1	75	90	300	30	0,1	66,982
1	75	120	300	30	0,1	68,7355
1	75	150	300	30	0,1	70,489
1	75	230	300	30	0,1	75,165
1	75	120	120	30	0,1	64,5648
1	75	120	180	30	0,1	65,955
1	75	120	240	30	0,1	67,3453
1	75	120	450	30	0,1	72,2111
1	75	120	180	15	0,1	59,5039
1	75	120	180	45	0,1	72,4062
1	75	120	180	60	0,1	78,8573
1	75	120	180	45	0,1	72,4062
1	75	120	180	45	1	80,794
1	75	120	180	45	1,2	82,6579
1	75	120	180	45	1,4	84,5219
1	75	120	180	45	1,6	86,3858
1	75	120	180	45	1,8	88,2498
1	75	120	180	45	2	90,1137
2,5	30	200	300	30	0,1	72,1975
2,5	45	200	300	30	0,1	72,9627
2,5	60	200	300	30	0,1	73,7278
2,5	75	200	300	30	0,1	74,4929
2,5	90	200	300	30	0,1	75,258
2,5	105	200	300	30	0,1	76,0231
2,5	120	200	300	30	0,1	63,8942
2,5	75	90	300	30	0,1	68,0634
2,5	75	120	300	30	0,1	69,8169
2,5	75	150	300	30	0,1	71,5704
2,5	75	230	300	30	0,1	76,2464
2,5	75	120	120	30	0,1	65,6462
2,5	75	120	180	30	0,1	67,0364
2,5	75	120	240	30	0,1	68,4266
2,5	75	120	450	30	0,1	73,2925
2,5	75	120	180	15	0,1	60,5853

2,5	75	120	180	45	0,1	73,4875
2,5	75	120	180	60	0,1	79,9387
2,5	75	120	180	45	0,1	73,4875
2,5	75	120	180	45	1	81,8753
2,5	75	120	180	45	1,2	83,7393
2,5	75	120	180	45	1,4	85,6032
2,5	75	120	180	45	1,6	87,4672
2,5	75	120	180	45	1,8	89,3311
2,5	75	120	180	45	2	91,1951
5	30	200	300	30	1,4	82,0809
5	45	200	300	30	1,4	85,8269
5	60	200	300	30	1,4	87,0717
5	75	200	300	30	1,4	89,1594
5	90	200	300	30	1,4	89,3399
5	105	200	300	30	1,4	94,2931
5	120	200	300	30	1,4	94,7038
5	75	90	300	30	1,4	75,9263
5	75	120	300	30	1,4	81,3353
5	75	150	300	30	1,4	86,6064
5	75	230	300	30	1,4	94,2004
5	75	120	120	30	1,4	78,5925
5	75	120	180	30	1,4	78,6575
5	75	120	240	30	1,4	79,4138
5	75	120	450	30	1,4	84,46
5	75	120	180	15	1,4	74,5129
5	75	120	180	45	1,4	91,0252
5	75	120	180	60	1,4	92,1085
5	120	200	300	30	0,1	76,4035
5	120	200	300	30	1	77,219
5	120	200	300	30	1,2	83,4631
5	120	200	300	30	1,4	94,7038
5	120	200	300	30	1,6	97,12
5	120	200	300	30	1,8	98,2354
5	120	200	300	30	2	98,9963
6	30	200	300	30	0,1	74,7208
6	45	200	300	30	0,1	75,4859
6	60	200	300	30	0,1	76,251
6	75	200	300	30	0,1	77,0161
6	90	200	300	30	0,1	77,7812
6	105	200	300	30	0,1	78,5463
6	120	200	300	30	0,1	79,3114
6	75	90	300	30	0,1	70,5866
6	75	120	300	30	0,1	76,8997
6	75	150	300	30	0,1	74,0936
6	75	230	300	30	0,1	78,7696
6	75	120	120	30	0,1	68,1694
6	75	120	180	30	0,1	69,5596

6	75	120	240	30	0,1	70,9499
6	75	120	450	30	0,1	75,8157
6	75	120	180	15	0,1	63,1085
6	75	120	180	45	0,1	76,0108
6	75	120	180	60	0,1	82,4619
6	75	120	180	45	0,1	76,0108
6	75	120	180	45	1	84,3985
6	75	120	180	45	1,2	86,2625
6	75	120	180	45	1,4	88,1265
6	75	120	180	45	1,6	89,9904
6	75	120	180	45	1,8	91,8544
6	75	120	180	45	2	93,7183
7	30	200	300	30	0,1	75,4417
7	45	200	300	30	0,1	76,2068
7	60	200	300	30	0,1	76,9719
7	75	200	300	30	0,1	77,737
7	90	200	300	30	0,1	78,5021
7	105	200	300	30	0,1	79,2672
7	120	200	300	30	0,1	84,9948
7	75	90	300	30	0,1	71,3075
7	75	120	300	30	0,1	73,061
7	75	150	300	30	0,1	74,8145
7	75	230	300	30	0,1	79,4905
7	75	120	120	30	0,1	68,8903
7	75	120	180	30	0,1	70,2805
7	75	120	240	30	0,1	71,6708
7	75	120	450	30	0,1	76,5366
7	75	120	180	15	0,1	63,8294
7	75	120	180	45	0,1	76,7317
7	75	120	180	60	0,1	83,1828
7	75	120	180	45	0,1	76,7317
7	75	120	180	45	1	85,1195
7	75	120	180	45	1,2	86,9834
7	75	120	180	45	1,4	88,8474
7	75	120	180	45	1,6	90,7113
7	75	120	180	45	1,8	92,5753
7	75	120	180	45	2	94,4392
8	30	200	300	30	0,1	76,1626
8	45	200	300	30	0,1	76,9277
8	60	200	300	30	0,1	77,6928
8	75	200	300	30	0,1	78,4579
8	90	200	300	30	0,1	79,223
8	105	200	300	30	0,1	79,9881
8	120	200	300	30	0,1	86,202
8	75	90	300	30	0,1	72,0284
8	75	120	300	30	0,1	73,7819
8	75	150	300	30	0,1	75,5354

8	75	230	300	30	0,1	80,2114
8	75	120	120	30	0,1	69,6112
8	75	120	180	30	0,1	71,0015
8	75	120	240	30	0,1	72,3917
8	75	120	450	30	0,1	77,2575
8	75	120	180	15	0,1	64,5503
8	75	120	180	45	0,1	77,4526
8	75	120	180	60	0,1	83,9037
8	75	120	180	45	0,1	77,4526
8	75	120	180	45	1	85,8404
8	75	120	180	45	1,2	87,7043
8	75	120	180	45	1,4	89,5683
8	75	120	180	45	1,6	91,4322
8	75	120	180	45	1,8	93,2962
8	75	120	180	45	2	95,1601
9	30	200	300	30	0,1	76,8835
9	45	200	300	30	0,1	77,6486
9	60	200	300	30	0,1	78,4137
9	75	200	300	30	0,1	79,1788
9	90	200	300	30	0,1	79,9439
9	105	200	300	30	0,1	80,7091
9	120	200	300	30	0,1	86,7427
9	75	90	300	30	0,1	72,7494
9	75	120	300	30	0,1	74,5029
9	75	150	300	30	0,1	76,2564
9	75	230	300	30	0,1	80,9323
9	75	120	120	30	0,1	70,3321
9	75	120	180	30	0,1	71,7224
9	75	120	240	30	0,1	73,1126
9	75	120	450	30	0,1	77,9785
9	75	120	180	15	0,1	65,2712
9	75	120	180	45	0,1	78,1735
9	75	120	180	60	0,1	84,6247
9	75	120	180	45	0,1	78,1735
9	75	120	180	45	1	86,5613
9	75	120	180	45	1,2	88,4253
9	75	120	180	45	1,4	90,2892
9	75	120	180	45	1,6	92,1532
9	75	120	180	45	1,8	94,0171
9	75	120	180	45	2	95,8811
10	30	200	300	30	0,1	77,6044
10	45	200	300	30	0,1	78,3695
10	60	200	300	30	0,1	79,1347
10	75	200	300	30	0,1	79,8998
10	90	200	300	30	0,1	80,6649
10	105	200	300	30	0,1	81,43
10	120	200	300	30	0,1	87,8611

10	75	90	300	30	0,1	73,4703
10	75	120	300	30	0,1	75,2238
10	75	150	300	30	0,1	76,9773
10	75	230	300	30	0,1	81,6533
10	75	120	120	30	0,1	71,0531
10	75	120	180	30	0,1	72,4433
10	75	120	240	30	0,1	73,8335
10	75	120	450	30	0,1	78,6994
10	75	120	180	15	0,1	65,9922
10	75	120	180	45	0,1	78,8944
10	75	120	180	60	0,1	85,3456
10	75	120	180	45	0,1	78,8944
10	75	120	180	45	1	87,2822
10	75	120	180	45	1,2	89,1462
10	75	120	180	45	1,4	91,0101
10	75	120	180	45	1,6	92,8741
10	75	120	180	45	1,8	94,738
10	75	120	180	45	2	96,602
12,5	30	200	300	30	0,1	79,4067
12,5	45	200	300	30	0,1	80,1718
12,5	60	200	300	30	0,1	80,937
12,5	75	200	300	30	0,1	81,7021
12,5	90	200	300	30	0,1	82,4672
12,5	105	200	300	30	0,1	83,2323
12,5	120	200	300	30	0,1	83,9974
12,5	75	90	300	30	0,1	75,2726
12,5	75	120	300	30	0,1	91,1643
12,5	75	150	300	30	0,1	78,7796
12,5	75	230	300	30	0,1	83,4555
12,5	75	120	120	30	0,1	72,8554
12,5	75	120	180	30	0,1	74,2456
12,5	75	120	240	30	0,1	75,6358
12,5	75	120	450	30	0,1	80,5017
12,5	75	120	180	15	0,1	67,7944
12,5	75	120	180	45	0,1	80,6967
12,5	75	120	180	60	0,1	87,1479
12,5	75	120	180	45	0,1	80,6967
12,5	75	120	180	45	1	89,0845
12,5	75	120	180	45	1,2	90,9485
12,5	75	120	180	45	1,4	92,8124
12,5	75	120	180	45	1,6	94,6764
12,5	75	120	180	45	1,8	96,5403
12,5	75	120	180	45	2	98,4043
15	30	200	300	30	0,1	81,209
15	45	200	300	30	0,1	81,9741
15	60	200	300	30	0,1	82,7392
15	75	200	300	30	0,1	83,5044

15	90	200	300	30	0,1	84,2695
15	105	200	300	30	0,1	85,0346
15	120	200	300	30	0,1	92,4456
15	75	90	300	30	0,1	77,0749
15	75	120	300	30	0,1	78,8284
15	75	150	300	30	0,1	80,5819
15	75	230	300	30	0,1	85,2578
15	75	120	120	30	0,1	74,6576
15	75	120	180	30	0,1	76,0479
15	75	120	240	30	0,1	77,4381
15	75	120	450	30	0,1	82,304
15	75	120	180	15	0,1	69,5967
15	75	120	180	45	0,1	82,499
15	75	120	180	60	0,1	88,9502
15	75	120	180	45	0,1	82,499
15	75	120	180	45	1	90,8868
15	75	120	180	45	1,2	92,7508
15	75	120	180	45	1,4	94,6147
15	75	120	180	45	1,6	96,4787
15	75	120	180	45	1,8	98,3426
15	75	120	180	45	2	99,9999
20	30	200	300	30	0,1	84,8136
20	45	200	300	30	0,1	85,5787
20	60	200	300	30	0,1	86,3438
20	75	200	300	30	0,1	87,1089
20	90	200	300	30	0,1	87,8741
20	105	200	300	30	0,1	88,6392
20	120	200	300	30	0,1	97,7914
20	75	90	300	30	0,1	80,6795
20	75	120	300	30	0,1	82,433
20	75	150	300	30	0,1	84,1865
20	75	230	300	30	0,1	88,8624
20	75	120	120	30	0,1	78,2622
20	75	120	180	30	0,1	79,6525
20	75	120	240	30	0,1	81,0427
20	75	120	450	30	0,1	85,9086
20	75	120	180	15	0,1	73,2013
20	75	120	180	45	0,1	86,1036
20	75	120	180	60	0,1	92,5548
20	75	120	180	45	0,1	86,1036
20	75	120	180	45	1	94,4914
20	75	120	180	45	1,2	96,3554
20	75	120	180	45	1,4	98,2193
20	75	120	180	45	1,6	99,9999
20	75	120	180	45	1,8	99,9999
20	75	120	180	45	2	99,9999
50	30	200	300	30	0,1	99,9999

50	45	200	300	30	0,1	99,9999
50	60	200	300	30	0,1	99,9999
50	75	200	300	30	0,1	99,9999
50	90	200	300	30	0,1	99,9999
50	105	200	300	30	0,1	99,9999
50	120	200	300	30	0,1	99,9999
50	75	90	300	30	0,1	99,9999
50	75	120	300	30	0,1	99,9999
50	75	150	300	30	0,1	99,9999
50	75	230	300	30	0,1	99,9999
50	75	120	120	30	0,1	99,8898
50	75	120	180	30	0,1	99,9999
50	75	120	240	30	0,1	99,9999
50	75	120	450	30	0,1	99,9999
50	75	120	180	15	0,1	94,8289
50	75	120	180	45	0,1	99,9999
50	75	120	180	60	0,1	99,9999
50	75	120	180	45	0,1	99,9999
50	75	120	180	45	1	99,9999
50	75	120	180	45	1,2	99,9999
50	75	120	180	45	1,4	99,9999
50	75	120	180	45	1,6	99,9999
50	75	120	180	45	1,8	99,9999
50	75	120	180	45	2	99,9999

Model Summary[g]

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin-Watson
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	
1	,617[a]	,380	,378	7,8222509	,380	182,837	1	298	,000	
2	,868[b]	,754	,752	4,9352723	,374	451,613	1	297	,000	
3	,891[c]	,795	,793	4,5185806	,040	58,303	1	296	,000	
4	,932[d]	,868	,867	3,6227201	,074	165,496	1	295	,000	
5	,941[e]	,886	,884	3,3831062	,017	44,268	1	294	,000	
6	,946[f]	,894	,892	3,2594536	,009	23,730	1	293	,000	1,017

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	76,532	,631		121,311	,000
	Doz	,490	,036	,617	13,522	,000
2	(Constant)	71,360	,467		152,957	,000
	Doz	,523	,023	,659	22,836	,000
	KDozu	9,273	,436	,613	21,251	,000
3	(Constant)	63,866	1,070		59,670	,000

	Doz	,514	,021	,647	24,462	,000
	KDozu	7,778	,445	,514	17,482	,000
	Yhız	,239	,031	,224	7,636	,000
4	(Constant)	49,235	1,425		34,556	,000
	Doz	,520	,017	,655	30,865	,000
	KDozu	8,256	,359	,546	23,020	,000
	Yhız	,344	,026	,323	13,039	,000
	HHız	,071	,006	,295	12,865	,000
5	(Constant)	43,921	1,552		28,302	,000
	Doz	,522	,016	,657	33,175	,000
	KDozu	8,608	,339	,569	25,386	,000
	Yhız	,395	,026	,371	15,310	,000
	HHız	,057	,006	,235	10,113	,000
	Ysüre	,022	,003	,166	6,653	,000
6	(Constant)	40,099	1,688		23,749	,000
	Doz	,524	,015	,660	34,538	,000
	KDozu	8,440	,328	,558	25,695	,000
	Yhız	,399	,025	,375	16,052	,000
	HHız	,055	,005	,228	10,160	,000
	Ysüre	,022	,003	,164	6,801	,000
	Hsüre	,054	,011	,093	4,871	,000

95,0% Confidence Interval for B		Correlations			Collinearity Statistics	
Lower Bound	Upper Bound	Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
75,290	77,773					
,418	,561	,617	,617	,617	1,000	1,000
70,442	72,278					
,478	,568	,617	,798	,657	,995	1,005
8,414	10,132	,568	,777	,611	,995	1,005
61,760	65,973					
,472	,555	,617	,818	,644	,992	1,008
6,902	8,654	,568	,713	,461	,803	1,246
,177	,301	,463	,406	,201	,806	1,241
46,431	52,039					
,487	,553	,617	,874	,652	,991	1,009
7,550	8,962	,568	,801	,486	,794	1,260
,292	,396	,463	,605	,275	,729	1,372
,061	,082	,019	,599	,272	,845	1,183
40,866	46,975					
,491	,553	,617	,888	,654	,991	1,009
7,940	9,275	,568	,829	,501	,775	1,291
,344	,446	,463	,666	,302	,664	1,506
,046	,068	,019	,508	,199	,718	1,393
,016	,029	-,112	,362	,131	,625	1,600
36,776	43,422					

,494	,553	,617	,896	,656	,990	1,010
7,794	9,087	,568	,832	,488	,766	1,305
,350	,448	,463	,684	,305	,663	1,508
,045	,066	,019	,510	,193	,715	1,398
,016	,028	-,112	,369	,129	,625	1,601
,032	,075	,123	,274	,093	,982	1,018

Excluded Variables[a]

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics		
						Tolerance	VIF	Minimum Tolerance
1	Hsüre	,145[b]	3,229	,001	,184	,999	1,001	,999
	HHız	,035[b]	,760	,448	,044	,999	1,001	,999
	Ysüre	-,099[b]	-2,185	,030	-,126	1,000	1,000	1,000
	Yhız	,450[b]	11,995	,000	,571	1,000	1,000	1,000
	KDozu	,613[b]	21,251	,000	,777	,995	1,005	,995
2	Hsüre	,102[c]	3,613	,000	,206	,994	1,006	,990
	HHız	,203[c]	7,407	,000	,395	,935	1,069	,931
	Ysüre	,138[c]	4,630	,000	,260	,871	1,148	,867
	Yhız	,224[c]	7,636	,000	,406	,806	1,241	,803
3	Hsüre	,117[d]	4,567	,000	,257	,989	1,011	,795
	HHız	,295[d]	12,865	,000	,599	,845	1,183	,729
	Ysüre	,264[d]	9,904	,000	,500	,736	1,359	,681
4	Hsüre	,096[e]	4,670	,000	,263	,983	1,018	,727
	Ysüre	,166[e]	6,653	,000	,362	,625	1,600	,625
5	Hsüre	,093[f]	4,871	,000	,274	,982	1,018	,625

a. Dependent Variable: Arsenik

b. Predictors in the Model: (Constant), Doz

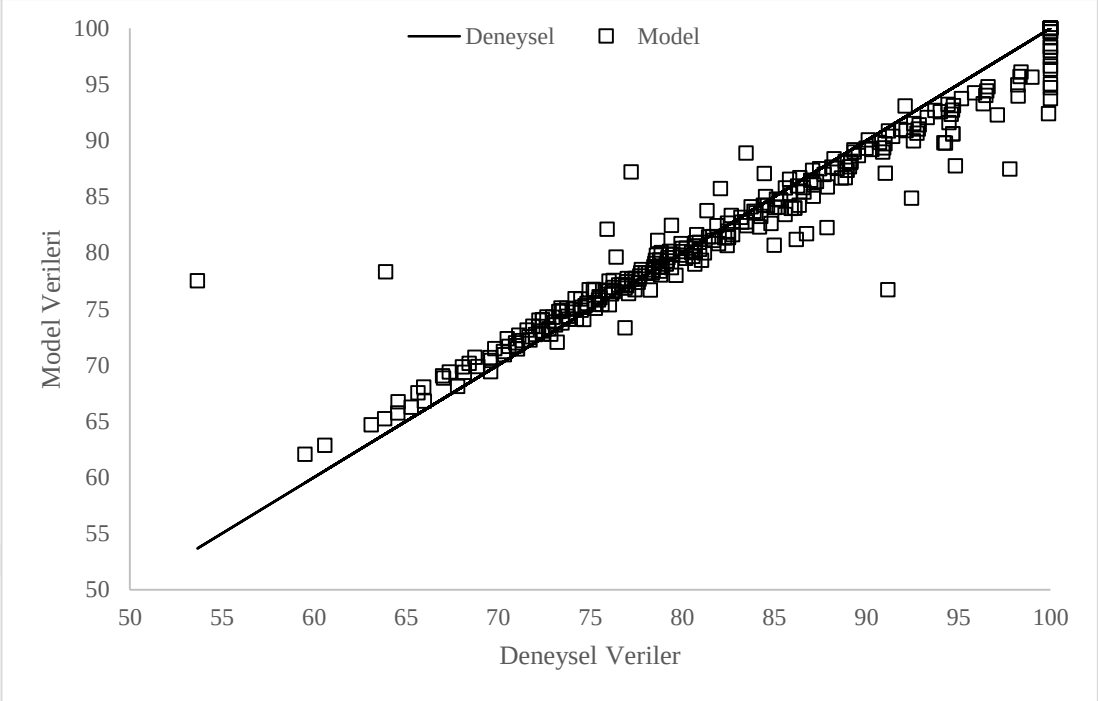
c. Predictors in the Model: (Constant), Doz, KDozu

d. Predictors in the Model: (Constant), Doz, KDozu, Yhız

e. Predictors in the Model: (Constant), Doz, KDozu, Yhız, HHız

f. Predictors in the Model: (Constant), Doz, KDozu, Yhız, HHız, Ysüre

EK.B.2: Demir sülfat çalışması grafiği



ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı **:** Erel EDİK

Doğum Yılı ve Yeri **:** 1991 / Dörtyol

Eğitim Bilgileri

Lisans **:** Aksaray Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü; 2013

Yüksek Lisans **:** Aksaray Üniversitesi, Çevre Mühendisliği A.B.D.

İletişim Bilgileri

Adres **:** Kuzuculu Mah. Hataylı Sk. Nu: 18 Dörtyol / HATAY

Telefon **:** 0 506 966 0880

E-posta Adresi **:** ereledik@hotmail.com