

T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
KOORDİNASYON BİRİMİ

**TEKSTİL ATIKSULARININ KİMYASAL ÇÖKTÜRME İLE
ARITIMININ TAGUCHI METODU İLE OPTİMİZASYONU**

Proje No: FBA-10-2966

Proje Türü: Bilimsel Araştırma Projesi

SONUÇ RAPORU

Proje Yürütücüsü:
Doç. Dr. Yalçın Şevki YILDIZ

Birimi:
Mühendislik Fakültesi/Çevre Mühendisliği Bölümü

Araştırmacıların Adı Soyadı
Arş. Gör. Ömür GÖKKUŞ
Y. Lisans Öğrencisi Adil AKBAY

Birimi:
Mühendislik Fakültesi/Çevre Mühendisliği Bölümü

Aralık 2011
KAYSERİ

TEŞEKKÜR

“Tekstil Atıksularının Kimyasal Çöktürme İle Arıtımının Taguchi Metodu İle Optimizasyonu” isimli ve FBA–10–2966 nolu projenin yürütülmesinde maddi katkılarından dolayı Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırmaları Projeleri Birimine teşekkür ederim.

Doç. Dr. Yalçın Şevki YILDIZ

ÖZET

Tekstil endüstrisi, ülkemiz için önemli endüstriyel faaliyet alanlarından birisidir. Bu endüstri çok çeşitli üretim proseslerine sahip olması nedeniyle yüksek kirlilik yükü ve atıksu miktarı, çözünmüş madde konsantrasyonu ve değişik yapıda boyar maddeler içermektedir. Tekstil endüstrisi atıksularının başlıca kirlilik kaynağı boyama ve son işlemlerden gelmektedir. Boyama ve tekstil proseslerinden kaynaklanan atıksuyun kompozisyonu, boyar maddenin özelliğine, tipine ve ilave edilen bileşenlerin konsantrasyonuna bağlı olarak günden güne ve her saat önemli ölçüde değişmektedir. Tekstil boyaları arasında özellikle kromoforik yapıları boyaların geniş kullanım alanı, toksik aromatik aminlere anoksik/anaerobik ortamlarda indirgenme yoluyla kolayca dönüşmeleri, ayrıca biyolojik aktif çamur ve çeşitli kimyasal oksidasyon proseslerine karşı inert olmaları, endüstriyel kirlenme kontrolü açısından önemli bir sorun teşkil etmektedir. Bu çalışmada gerçek bir tekstil atıksuyu için $Al_2(SO_4)_3$ ile kimyasal çöktürme denemeleri yapılarak renk ve KOI giderim verimleri açısından en uygun başlangıç pH değeri, koagulant dozu, yavaş karıştırma hızı, hızlı karıştırma hızı ve başlangıç kirlenici konsantrasyonu Taguchi deney tasarım metodu kullanılarak belirlenmiştir. Atıksuya uygulanan kimyasal çöktürme sonuçlarına göre KOI giderimi için en uygun işletim koşullarının pH 9, 200 mg Al^{+3}/L kimyasal dozu, 15 rpm yavaş ve 60 rpm hızlı karıştırma ayrıca Co/2 atıksu konsantrasyonu ile sağlandığı sonucuna varılmıştır. Benzer şekilde renk giderimi için pH 9, 200 mg Al^{+3}/L kimyasal dozu, 15 rpm yavaş ve 150 rpm hızlı karıştırma ayrıca Co/4 atıksu konsantrasyonu ve son olarak bulanıklık giderimi için pH 9, 400 mg Al^{+3}/L kimyasal dozu, 30 rpm yavaş ve 150 rpm hızlı karıştırma ayrıca Co/8 atıksu konsantrasyonu ile en iyi giderim sonuçlarına ulaşılabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Renk, KOI, Taguchi, Kimyasal Koagülasyon, Optimizasyon

ABSTRACT

Textile industry is an important industrial activity in our country. This industry, because it has various production processes, includes high pollution load, wastewater amount, soluble substances concentration, and various-structured dyeing materials. The main pollution source of textile wastewater comes from the dyeing and finishing processes. The composition of wastewater from dyeing and textile processes varies greatly from day to day and hour to hour, depending on the dyestuff type and the concentration of fixing compounds which are added. Among the commercial textile dyes, particularly chromophoric structured dyes are of environmental interest because of their widespread use, their potential for formation of toxic aromatic amines and their low removal rate during aerobic waste treatment as well as advanced chemical oxidation. In this study, using Taguchi experimental design method it has been aimed to determine the optimum conditions of initial pH value, coagulant dosage, slow mixing time, rapid mixing time and initial pollutant concentration in terms of color and COD removal percentages in the treatment of real textile wastewater with chemical coagulation using $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. According to chemical precipitation results, it has been concluded that the best operating conditions for COD removal are pH 9, 200 mg Al^{+3}/L chemical concentration, slow mixing time of 15 rpm ve rapid mixing time of 60 rpm, and initial wastewater concentration of Co/2. Likewise, the best operating conditions for color removal are pH 9, 200 mg Al^{+3}/L chemical concentration, slow mixing time of 15 rpm ve rapid mixing time of 150 rpm, and initial wastewater concentration of Co/4. Once again, the best operating conditions for turbidity removal are pH 9, 400 mg Al^{+3}/L chemical concentration, slow mixing time of 30 rpm and rapid mixing time of 150 rpm, and initial wastewater concentration of Co/8.

Keywords: Color, COD, Taguchi, Chemical Coagulation, Optimization

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	3
ÖZET.....	4
ABSTRACT	5
İÇİNDEKİLER.....	6
TABLolar DİZİNİ.....	7
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	8
 1- AMAÇ VE KAPSAM	 9
2- GENEL BİLGİLER.....	9
2.1. Tekstil Endüstrisi Atıksuları.....	9
2.2. Kimyasal Çöktürme ve Yumaklaştırma	11
2.2.1. Alüminyum sülfat çöktürmesi	12
2.2.2. Demir sülfat çöktürmesi	12
2.2.3. Demir klorür çöktürmesi	13
2.3. Deney Tasarımı ve Taguchi Metodu	13
2.4. Taguchi Metodu	16
3- GEREÇ VE YÖNTEM.....	19
4- BULGULAR.....	20
4.1. Kimyasal Çöktürme Deneyleri İçin Sistem Değişkenlerinin Giderim Performansı Üzerindeki Katkı Yüzdeleri.....	33
5- TARTIŞMA VE SONUÇ.....	36
KAYNAKLAR.....	39

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 3.1. Taguchi Deney Tasarım Matrisi (L_{25}).....	19
Tablo 3.2. Optimizasyon denemelerinde kullanılan değişkenler ve aralıkları.....	20
Tablo 4.3. Tekstil Atıksuyunun Kirlilik Parametreleri (Atıksu Karakterizasyonu).....	20
Tablo 4.4. Alum ile kimyasal çöktürme ön-denemelerinde elde edilen sonuçlar.....	21
Tablo 4.5. Optimizasyon Denemelerinde Kullanılan Değişkenler ve Aralıkları.....	23
Tablo 4.6. Değişiklik Yapılan Değişkenler ve Aralıkları.....	23
Tablo 4.7. Tekstil Endüstrisi Atıksuyu için Taguchi Yöntemi ile Kimyasal Çöktürme Performans Çıktıları (Giderim Verimleri).....	25
Tablo 4.8. KOI Giderim Performansı için Sistem Değişkenlerinin Kimyasal Çöktürme Üzerindeki Katkı Yüzdeleri.....	33
Tablo 4.9. Renk Giderim Performansı için Sistem Değişkenlerinin Kimyasal Çöktürme Üzerindeki Katkı Yüzdeleri.....	34
Tablo 4.10. Bulanıklık Giderim Performansı için Sistem Değişkenlerinin Kimyasal Çöktürme Üzerindeki Katkı Yüzdeleri.....	34
Tablo 4.11. Kimyasal Çöktürme Denemeleri için Optimum Koşullarda Gözlenen ve Tahmin Edilen Giderim Verimleri.....	36

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 4.1. 0-100 mg/L Konsantrasyon Aralığı için KOI Kalibrasyon Grafiği	20
Şekil 4.2. 0-1000 mg/L Konsantrasyon Aralığı için KOI Kalibrasyon Grafiği	22
Şekil 4.3. (a) Kimyasal koagülasyonla KOI Giderimi Üzerine Farklı Giriş Konsantrasyonlarının Etkisi (b) Kimyasal Koagülasyonla Renk Giderimi Üzerine Farklı Giriş Konsantrasyonlarının Etkisi (c) Kimyasal Koagülasyonla Bulanıklık Giderimi Üzerine Farklı Giriş Konsantrasyonlarının Etkisi	26
Şekil 4.4. (a) Kimyasal Koagülasyonla KOI Giderimi Üzerine Farklı Hızlı Karıştırma Hızlarının Etkisi (b) Kimyasal Koagülasyonla Renk Giderimi Üzerine Farklı Hızlı Karıştırma Hızlarının Etkisi (c) Kimyasal Koagülasyonla Bulanıklık Giderimi Üzerine Farklı Hızlı Karıştırma Hızlarının Etkisi	28
Şekil 4.5. (a) Kimyasal Koagülasyonla KOI Giderimi Üzerine Farklı Yavaş Karıştırma Hızlarının Etkisi (b) Kimyasal Koagülasyonla Renk Giderimi Üzerine Farklı Yavaş Karıştırma Hızlarının Etkisi (c) Kimyasal Koagülasyonla Bulanıklık Giderimi Üzerine Farklı Yavaş Karıştırma Hızlarının Etkisi	30
Şekil 4.6. (a) Giriş Atıksu pH'sının Kimyasal Koagülasyonla KOI Giderimi Üzerine Etkisi (b) Giriş Atıksu pH'sının Kimyasal Koagülasyonla Renk Giderimi Üzerine Etkisi (c) (a) Giriş Atıksu pH'sının Kimyasal Koagülasyonla Bulanıklık Giderimi Üzerine Etkisi	31
Şekil 4.7. (a) Kimyasal Koagülasyonla KOI Giderimi Üzerine Farklı Al^{+3} Konsantrasyonunun Etkisi (b) Kimyasal Koagülasyonla Renk Giderimi Üzerine Farklı Al^{+3} Konsantrasyonunun Etkisi (c) Kimyasal Koagülasyonla Bulanıklık Giderimi Üzerine Farklı Al^{+3} Konsantrasyonunun Etkisi	32

1- AMAÇ VE KAPSAM

Tekstil atıksularında çözünmüş veya kolloidal yapıda olabilen rengin başlıca kaynağı kullanılan boyarmaddelerdir. Boyamada kimyasal ve biyolojik ayrışmaya karşı dirençli boyarmaddelerin kullanılması istenildiğinden, oluşan boyarmadde atıkları da biyolojik ayrışmaya karşı dirençlidir. Boyarmaddelerin yüksek moleküllü bileşikler halinde olmaları ve çevresel açıdan taşıdıkları önem nedeniyle arıtılabilirliklerinin araştırılması ve arıtma seçeneklerinin ortaya konulması büyük bir öneme sahiptir.

Renk, boyama işlemlerinin yapıldığı tekstil endüstrisi atıksularının en karakteristik parametrelerinden biridir. Alıcı ortamda hem estetik hem de ekolojik denge açısından ciddi problemler yaratmaktadır. Renkli sular güneş ışınlarının geçişini engelleyerek, fotosentez hızını yavaşlatmaktadır. Bu da ortamın çözünmüş oksijen değerinin azalmasına ve dolayısı ile doğal ekosistem içerisindeki biyolojik mekanizmaların olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır.

Tekstil atıksularının arıtımında yaygın olarak kullanılan ve işletimsel açıdan en ekonomik çözümler sunan biyolojik arıtım yöntemleri, atıksuların içerdiği boyarmaddelerin biyolojik olarak ayrılmaya karşı dirençli yapıda olmaları nedeniyle çoğunlukla yetersiz kalmaktadır. Konvansiyonel arıtma yöntemleri içinde yer alan kimyasal çöktürme ile renk giderimi ise en çok kullanılan yöntemlerden birisidir.

Yöntemde floklaşma ve çökelme kimyasal maddeler yardımıyla sağlanmaktadır. Atıksuya ilave edilen kimyasal maddeler yardımıyla meydana gelen floklaşma ile çözünmüş maddeler ve kolloidler giderilir. En çok kullanılan kimyasallar arasında $Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$ ve $FeSO_4$ sayılabilir. Bu çalışmada $Al_2(SO_4)_3$, için renk ve KOI giderim verimleri açısından en uygun başlangıç pH değeri, koagulant dozu, yavaş karıştırma hızı, hızlı karıştırma hızı ve başlangıç kirletici konsantrasyonu Taguchi deney tasarım metodu kullanılarak belirlenecektir. Bu çalışmada Taguchi metodunun seçilmesinin nedeni yöntemin planlanmış deney serilerinden oluşması ve yürütülen bu deney serileri ile sistemin davranışı hakkında bilgi sağlanması ve klasik metotlarla yapılacak deney sayısının minimize edilmesidir. Yine yöntemin diğer bir avantajı ise giderim performansının optimize edilmesi ile deneysel maliyetlerin azaltılmasıdır.

2- GENEL BİLGİLER

2.1. Tekstil Endüstrisi Atıksuları

Tekstil endüstrisi kategorisi tabii ve fabrikasyon elyafları kullanarak kumaş ve diğer tekstil ürünleri üreten tesisleri kapsar. Fabrikasyon elyafların üretimi ve giyim sanayii bu kategori dışındadır. Tekstil endüstrisi tabii ve fabrikasyon ipliklerin hazırlanması, dokuma örme veya başka yöntemlerle kumaş,

triko, halı gibi tekstil ürünleri haline getirilmesi, iplik ve kumaşlara boya, baskı, apre gibi terbiye işlemlerinin uygulanması işlemlerini içerir [1].

Tekstil endüstrisinde boyama işlemi kumaşa renk vermek için yapılır. Boyalı atıksuların karakterizasyonu, boyaların kimyasal yapısındaki farklılıklardan ve boyama proseslerinin değişim göstermesinden dolayı oldukça zordur [2].

Tekstil endüstrisinde üretimde yer alan proses ve işlemler, işlenen elyafa bağlı olmaksızın tanım olarak birbirine benzerler. Endüstride uygulanan ana işlemler, haşıllama, haşıl sökme, ağartma, merserize etme, boyama, apreleme olmak üzere gruplandırılabilirler [3].

Tekstil endüstrisinde işlenen genel elyaf çeşitleri ise pamuklu, yünlü ve sentetik elyaflardır. Kullanılan elyafın özelliğine bağlı olarak bazı farklı üretim işlemlerine de rastlanmaktadır; örneğin, yünlü ürünlere uygulanan karbonizasyon işlemi pamuklu ürünlerde merserizasyon adını alır yada pamuk ve sentetik elyaflarda başlangıçta yıkamayı gerektirecek bir kirlilik bulunmamasına karşılık, yün elyafların çok kirli olmasından dolayı elyafın iplik haline getirilebilmesi için önceden yıkama işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Yünlü dokuma endüstrisini kirleticilik bakımından diğer tekstil gruplarından ayıran en önemli fark bu yıkama işlemidir [3].

Tekstil endüstrisinde kullanılan boyarmaddeler organik yapıda olup, çözelti veya süspansiyon halinde çeşitli yöntemlerle cismin yüzeyi ile kimyasal veya fizikokimyasal bir reaksiyona girerek birleşirler ve cismin yüzey yapısını değiştirerek renk oluştururlar. Tekstil endüstrisinde kullanılan boyar maddeler, zararlı atık olarak kabul edilmektedirler. Boyalar kompleks organik bileşikler olup, biyolojik olarak indirgenmeye uygun değildirler.

Boyarmaddeler genellikle suda çözünabilir yapıda oldukları halde, bazıları proses sırasında çözünabilirlik kazanır ve sonra çözünemez duruma gelirler [4].

Tüm renkli organik bileşikler, rengi oluşturan doymamış kromofor grubunu içerirler. Bu grupları taşıyan bileşiklere kromojen denir. Bir kromojenin boyarmadde olması için molekülde kromofordan başka oksokrom denilen amino $[-NH_2]$, yer değiştiren amino $[NHR, -NR_2]$, hidroksil $[-OH]$, metoksil $[-OCH_3]$, sülfonik $[SO_3H]$ ve karboksil $[COOH]$ gruplarının da bulunması gerekir. Bu gruplar aynı zamanda molekülün suda çözünmesi ve elyafa karşı afiniteye sahip olmasını da sağlar. Kromofor grupları; nitro $[R.NO_2]$, nitrozo $[-N_2O]$, azo $[-N=N-]$, karbonil $[C=O]$, etilenik çifte bağ $[-C=C-]$, tiyokarbonil $[-C=S]$ gibi çifte bağlı gruplardan oluşur [4].

Boyarmaddeler ya kimyasal yapılarına göre yada boyama özelliklerine göre sınıflandırılırlar. Bu iki sınıflandırma şekli arasında çok az ilişki vardır. Örneğin kimyasal yapı bakımından büyük bir grubu meydana getiren azo boyarmaddeleri, boyama özelliklerine göre yapılan bir sınıflandırmada her grupta yer alırlar. Boyamada boyar maddelerin kimyasal yapısından boyama özellikleri bakımından hangi gruba girdiği daha yaygın olarak kullanılmaktadır [4].

Atıksularda çok çeşitli bileşikler bulunabildiğinden alıcı ortamlardaki etkileri farklı olabilmektedir. Alkoller ve doymuş karboksilik asitler biyolojik olarak yükseltgenebildiklerinden alıcı sulardaki çözünmüş oksijenin tükenmesine yol açabilmektedirler. Alkollerde dahil olmak üzere çeşitli organik bileşikler biyokimyasal ayrışma süreçlerine etki ederler.

Bazı bileşikler 2,5 mg/l derişimde mikroorganizmalara karşı toksik olmadıkları halde, ikisi yada üçü bir arada bulunduklarında biyolojik ayrışmayı tamamen inhibe edebilmektedirler. İzopropil eter, imnoetil alkol, etilendiamin ve trietanolamin gibi bileşiklerin ayrışması için 50 günden uzun bir süreye gerek olduğu bilinmektedir. Sülfürler, polisülfürler ve hidrosülfürler gibi bazı bileşikler ise alıcı ortamlarda ani ve büyük bir oksijen tüketimine neden olmaktadır [5].

İnorganik asitler, ağır metal tuzları ve toksik organik bileşikler yüzeysel sulardaki biyokimyasal dengeyi bozar, bazen de kısa veya uzun mesafelerdeki biyolojik yaşamı tamamen ortadan kaldırırlar. Organik maddelerin ve boyar maddelerin balıklar üzerinde toksik etkiler yaptığı çeşitli araştırmacılar tarafından gösterilmiştir. Hidrazin 0,7 mg/L gibi çok düşük derişimlerde bile çok toksiktir. Diğer bileşikler için belirtilen sınır derişimler; sodyum bisülfid 4 mg/l, diamilamin 5 mg/l, fenol 10 mg/l, dimetilamin 30 mg/l, amilasetat 50 mg/l, asetik asit 100 mg/l şeklindedir. Boyalar için verilen sınır derişimleri ise viktorya mavisi 10 mg/l, metil viyole 6B 10 mg/l, parlak yeşil boyalar 10 mg/l'dir [5].

2.2. Kimyasal Çöktürme ve Yumaklaştırma

Bu yöntemde flokleşme ve çökelme kimyasal maddeler yardımıyla sağlanır. Atıksuya katılan kimyasal maddeler yardımıyla meydana gelen flokleşme ile çözünmüş maddeler ve kolloidler giderilir. En çok kullanılan kimyasallar arasında $Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$, $FeSO_4$ ve kireç sayılabilir [2].

Ayrıca renk gideriminde kaba öğütölmüş kil, aktif silika ve kireç ile beraber Fe(II) ve Fe(III) tuzları kullanılmaktadır. Boyar maddeler çöktürme esnasında flokların içinde tutularak veya metal hidroksitlere bağlanarak çökerler. Metal hidroksitler hem çöktürücü hem de koagölant olarak etki ederler [6].

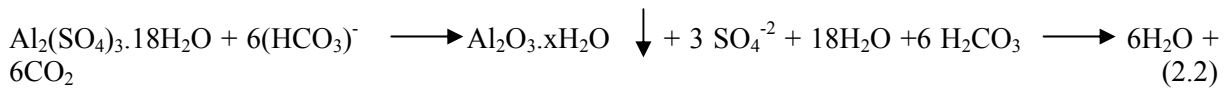
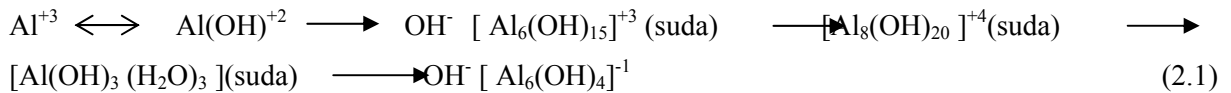
Sıcaklık, pH, tuz konsantrasyonu, boyarmadde cinsi ve konsantrasyonu renk giderimini etkileyen parametrelerdir. Çöktürme ve yumaklaştırma ile optimum koşullar sağlandığında %80-90 verim elde edilebilir [6].

Çöktürme ve yumaklaştırma yönteminin dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanmaktadır [6]:

- Optimum çöktürme/yumaklaştırma koşulları birçok denemeden sonra bulunur. Fakat bu denemeler genellikle pahalıdır, zaman alır ve renk giderimi gerektiren her atıksu için tekrarlanır.
- Katyonik yumaklaştırıcıların fazlalığı amonyak konsantrasyonunun artmasına neden olur.
- Boyarmaddeye bağlı olarak %4-10 oranında kalıntı renk oluşur.
- Dispers boyaların renginin giderilebilmesine karşılık çözünür haldeki boyarmaddelerin çözünür haldeki boyarmaddelerin rengi giderilememektedir.
- Aşırı koagülant kullanılması halinde büyük miktarda çamur oluşmaktadır.
- Devamlı olarak kimyasal madde kullanımı işletme maliyetini artırmaktadır.

2.2.1. Alüminyum sülfat çöktürmesi

Alüminyum sülfat kirli, beyaz-gri kristaller şeklindedir. İri parçalar halinde pirinç büyüklüğünde daha ince taneler halinde veya toz halinde satılmaktadır. İçinde % 17 oranında $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ vardır. Bu, asit bir tuzdur ve madenlerin çoğu ile bazı beton çeşitlerine korozyon etki yapar. 100 kısım 0 °C suda 86,9 kısım alüminyum sülfat erir. Alüminyum sülfatın suda pıhtılaşma yapabilmesi suyun alkalinitesiyle doğrudan orantılıdır. Suyun alkalinitesi düşük olursa beklenenden daha az bir pıhtılaşma gerçekleşir. Eğer alkalinite düşükse böyle durumlarda alkaliniteyi yükseltmek için CaO veya soda ilave edilir [7].

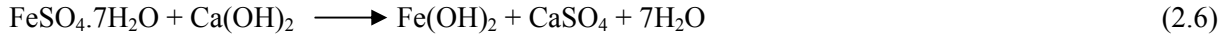
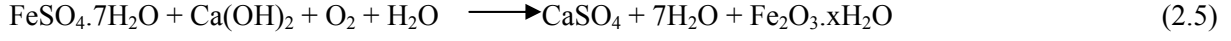


2.2.2. Demir sülfat çöktürmesi

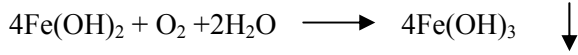
Demir sülfat yaklaşık $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ şeklinde, kolayca eriyebilen yeşil bir kristaldir. Demir sülfat asidik bir tuzdur. Suların alkaliniteleri ve pH dereceleri, pıhtı oluşumunu meydana getirmek üzere demir sülfat ile reaksiyona girebilmeleri için çok düşüktür. Zira reaksiyonlarda aşağıdaki denklemde görüldüğü gibi suda eriyik halde mevcut olan oksijen tarafından sağlanacak oksidasyon işlemi meydana gelmez. Böylece koagülasyonu sağlamak üzere suya kireç ilave ederek, bikarbonat alkaliliği karbonat alkaliliğine çevrilir ve alkalilik yükseltilir [8].



Suda mevcut eriyik oksijenle fazla Ca(OH)_2 in etkisi altında, demir hidroksit pıhtılaşarak polimerize olur ve hidrodemiroksit meydana gelir.



Şayet pH, ilave edilen kireç etkisi ile 9,5'un üstüne çıkarsa demir sülfat sudaki eriyik oksijen ile oksitlenerek aşağıdaki reaksiyonu verir [7].



2.2.3. Demir klorür çöktürmesi

Demir klorür suya eklendiği zaman aşağıdaki reaksiyon meydana gelir.



Demir hidroksit polimerize olarak hidrodemiroksit floklarını meydana getirir. Bu floklar alümandan daha ağırdır ve daha kısa zamanda meydana gelir. Pıhtılaşan demir hidroksit iyi bir koagülant meydana getirir [7].

2.3. Deney Tasarımı ve Taguchi Metodu

Deney tasarımı 1920'lerde, İngiliz istatistikçi Sir Ronald Fisher tarafından, tarım alanında araştırmalar yaparken bulunmuş ve geliştirilmiş olup deney verilerinin analizi için bugün klasik sayılan "varyans analizi" (ANOVA) yöntemini de geliştirmiştir. Yöntem, kısa bir süre içerisinde, Amerika'da tarım sektöründe üretimin geliştirilmesi için yoğun olarak uygulanmıştır. Deney tasarımı daha sonra kimya ve ilaç sektöründe de uygulanmış olmasına rağmen, imalat sektöründeki uygulamaları 1970'lere kadar son derece kısıtlı kalmıştır. Amerika'da imalat sektörü, 1980'lerin başında, deney tasarımı Japon kalitesini araştırırken yeniden keşfetmiştir. Deney tasarımı o tarihlerde Japonya'da profesör Genichi Taguchi'nin önderliğinde yoğun ve etkili olarak uygulanmaktaydı. Taguchi deney tasarımının üretimde uygulanmasında yenilikler yapmış ve başarılı uygulamalarla yöntemin imalat sektöründe kabul görmesini sağlamıştır [9].

Deneysel tasarım yöntemlerinin amacı, incelenen sistemdeki değişimlerin nedenini araştırmak ve değişimleri ortadan kaldırmaya veya değişimlere karşı sistemi güçlendirmeye yönelik çalışmalar yapmaktır. Değişkenliğin kontrol altında tutulmasıyla, kalitenin yükseltilmesi ve maliyetin düşürülmesi sağlanabilir. Düşük maliyetle yüksek kaliteye ulaşma yolunda, yönlendirilmiş deney

tekniklerinin yaygın olarak kullanılabilirliğinin ortaya çıkması, bir çok araştırmacıyı bu alana yöneltmiş ve aşağıda sıralanan bazı yöntemler geliştirilmiştir [10].

- Her defasında bir faktörü değiştirerek deney yapma
- Klasik istatistiksel deney tasarımı
 - Tam faktöriyel deney tasarımı
 - Kesirli faktöriyel deney tasarımı
- Taguchi deney tasarımı

Performans değerini etkileyen faktörlerin tüm kombinasyonlarının incelendiği tam faktöriyel tasarım stratejisinde tüm faktörler aynı anda değiştirilmektedir. Her defasında bir faktör değiştirerek deney yapma stratejisine göre, her yönü ile daha avantajlı olan tam faktöriyel tasarımın tek ve en önemli dezavantajı faktör ve/veya seviye arttıkça yapılması gereken deney sayısının aşırı derecede artmasıdır [11].

Deneylerin yapılabilirliğini sağlamak için, kesirli faktöriyel tasarım alternatif olarak kullanılabilir. Kesirli faktöriyel tasarımdaki amaç, ikili veya daha yüksek dereceli etkileşimleri ihmal ederek, deneyleri daha ucuza mal etmektir.

Klasik istatistiksel tasarımların amacı, performans değerini hedeflenen değere getirmek olup, hedef civarındaki değişkenlikle ilgilenilmez. Oysa kitle üretiminde karşılaşılan en önemli problem performans değerindeki değişkenliktir.

Klasik istatistiksel tasarımda, kontrol edilemeyen faktörler deneylerde incelenmediği için, deneyler üzerinde bazı sınırlamalar olmaktadır. Deneysel malzemedeki heterojenliğin etkisini ortadan kaldırmak için rastgeleleştirme kullanılmaktadır. Böyle bir hareket tarzı ile kontrol edilemeyen faktörlerdeki beklenmeyen değişkenlerin (ortam sıcaklığı, nemi, basıncı, vb.) olumsuz etkileri azaltılabilir. Ancak, bütün kontrol edilemeyen faktörlerin performans değeri üzerindeki etkileri sabit olmadığı için kısmi başarı elde edilse de, tam sağlıklı sonuç elde edilememektedir. Klasik deney tasarım yöntemlerinin eleştirilen diğer bir yönü de istatistiksel kurallara son derece bağlı olmasıdır. Sözelimi, deneyler sonunda bir faktörün modele alınıp alınmayacağı f testi ile belirlenir. Ayrıca, deneylerde çok sayıda bileşik etkinin incelenmesi ve böylece, performans değerinin elde edilmesinde faktörlerin toplanabilirliğinin bozulması nedeniyle laboratuvar ortamında belirlenen değerler, gerçek üretim şartlarında elde edilemeyebilir [11].

Taguchi, kaliteyi sağlamak için yapılan faaliyetleri iki bölüme ayırmaktadır.

1. Off-Line Kalite Kontrol: Off-Line kalite kontrol pazar araştırması ile ürün ve üretim prosesinin geliştirilmesi sırasında gerçekleştirilen kalite faaliyetlerini içermektedir. Bu faaliyetler ürüne doğrudan müdahaleler yerine, üretimin başlamasından önce gerçekleştirilen tasarım çalışmalarıdır.

2. On-Line Kalite Kontrol: On-Line kalite kontrol ürünün imalatı sırasında ve imalat sonrası kalite faaliyetlerini kapsar. İstatistiksel proses kontrolü ve çeşitli muayeneler, on-line kalite faaliyetlerindendir.

Deney tasarımı, Taguchi'nin kalite sisteminde, off-line kalite kontrol içinde yer almaktadır. Taguchi, off-line kalite kontrolü, 1.Ürün tasarımı ve 2.Proses tasarımı açısından ikiye ayırıyor. Kalite sağlama aşaması olarak, hem ürün tasarımı için hem de proses tasarımı için, üç kalite aşaması aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

- 1.Sistem tasarımı,
- 2.Parametre tasarımı
- 3.Tolerans tasarımı

Taguchi'ye göre, ürünün kalitesini iyileştirmede en belirleyici çalışmaların yapılabileceği aşama, hem ürün hem de proses tasarımı için, parametre tasarımı aşamasıdır. Ürün parametre tasarımı, ürün parametrelerinin, malzeme (çelik, lastik, plastik, kağıt vb.) formülasyon değerleri, çeşitli boyutlar, yüzey özellikleri gibi, optimal değerlerin belirlenmesi anlamına gelmektedir. Parametre tasarımında amaç, üründe ortaya çıkabilecek farklılığı (varyasyonu) asgariye indirerek, ürünün hem imalat hem hayat boyu maliyetini azaltmaktır.

Proses parametre tasarımı, kontrol edilebilen imalat proses parametreleri için optimal düzey ve ayarların belirlenmesi anlamında kullanılmaktadır. Her iki parametre tasarımında da amaç, üründe ve proseste, varyasyon yaratan ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin (parametrelerin) değerlerini optimal seçerek, ürün ve prosesteki varyasyonu minimuma indirmektir [9].

Taguchi yönteminin diğer istatistik yöntemlerinden farkı; bir deneyi etkileyen parametreleri, kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen olmak üzere iki grupta incelemesi ve çok sayıda parametreyi ikiden fazla seviyede incelemeye imkan sağlamasıdır. Ayrıca, performans değerinin ortalamasını hedeflenen düzeye getirirken, hedef civarındaki değişkenliği minimum yapmasıdır. Bir başka farkı da laboratuvar ortamında elde edilen sonuçların gerçek üretim ortamında da elde edilebilmesidir [12].

2.4. Taguchi Metodu

Maliyetleri en düşük seviyede tutmak için, en az deney yapma prensibine dayanan yöntemlerden birisi de Japon Bilim adamı Genichi Taguchi'nin geliştirmiş olduğu “Taguchi Yöntemi” dir [13]. Bu yöntemin diğer istatistiksel deney tasarım yöntemlerinden farkı; bir deneyi etkileyen parametreleri, kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen olmak üzere iki grupta incelemesi ve çok sayıda parametreyi ikiden fazla seviyede incelemeye imkân sağlamasıdır. Genellikle, ürün veya prosesin her birinin performans karakteristiği nominal değer veya hedef değere sahip olmalıdır. Amaç, bu hedef değer etrafındaki değişebilirliği azaltmaktır. Deneysel çalışma sonunda belirlenecek optimum çalışma şartları, farklı çalışma ortamları veya farklı zamanlarda her zaman aynı veya birbirine çok yakın performans değerini verebilmelidir. Bunun için kullanılacak optimizasyon kriteri, performans değeri etrafındaki değişkenliğin minimum düzeyde tutulmasını kontrol edebilmelidir. Taguchi'ye göre, böyle bir optimizasyon kriteri performans istatistiğidir.

Optimum şart her bir faktörün ana etkileri çalışılarak belirlenir ve bu ana etkiler faktörlerin etkilerinin genel eğilimlerini gösterir. İstenen sonucu yüksek değer mi, yoksa düşük değer mi ortaya çıkardığı bilindiğinde, en iyi sonuçları ürettiği beklenen faktörlerin seviyeleri tahmin edilebilir. Varyans analizi (ANOVA), her bir faktörün yüzde etkisini belirlemek için deney sonuçlarına çoğunlukla uygulanan yaygın bir istatistiksel işlemdir. Bir analiz için verilen ANOVA tablosu, hangi faktörlerin kontrol edilmesi gerektiğinin belirlenmesine yardımcı olur.

Optimum şartlar belirlendiğinde, genellikle, bir doğrulama deneyi yapmak iyi bir uygulamadır. Bununla birlikte, optimum olmayan şartlarda yürütülen deney sonuçlarından optimum şartlardaki performansı tahmin etmek mümkündür. Taguchi, tüm analizi gerçekleştirmek için iki farklı yol teklif etmiştir. Birincisi bir tek çalışmanın sonucunu veya tekrarlanan çalışmaların ortalamalarını ana etki ve yukarıda ifade edilen ANOVA analizleri ile değerlendiren standart yaklaşımdır. Çok parametrelili çalışmalar için kuvvetle önerilen ikinci yaklaşım ise, analizdeki aynı adımlar için S/N oranı (signal to noise ratio) kullanır. S/N analizi, sonuçlardaki değişimlerden proses şartları için en sağlıklı grubu belirler [14].

Elde edilen herhangi bir ürünün kalitesi ölçümün niteliğine bakılmaksızın tek bir kriterle ya da birden çok kriterin bir kombinasyonu ile ölçüldüğünden, yapılan ölçüm aşağıdaki üç karakteristiğin birine ait olacaktır [15]:

1. Daha büyük daha iyi
2. Daha küçük daha iyi

3. Nominal değer daha iyi

Birden çok performans karakteristiğini kullanarak bir prosesin optimizasyonu için Taguchi Metodu'nun uygulanmasında deney tasarımının planlanması, deneylerin ve analizlerin yapılması ve deneysel sonuçların doğruluğunun teyit edilmesi gibi sekiz aşama mevcuttur [16]:

- ana fonksiyonların, yan etkilerin ve başarısız yöntemlerin teşhis edilmesi
- kalite kayıplarını değerlendirmek için test şartları ve gürültü faktörlerinin teşhisi
- optimize için hedef fonksiyonun ve incelemek için kalite karakteristiğinin teşhisi
- kontrol faktörleri ve onların değişimli seviyelerinin teşhis edilmesi
- matris deneylerin dizaynı ve veri analiz prosedürünün tanımlanması
- matris deneylerle bağlantı kurulması
- veri analizi, kontrol faktörleri için optimum seviyelerin belirlenmesi ve bu şartlar altında performansın gözlenmesi
- doğrulama deneylerinin yapılması ve sonraki etkinin planlanması.

Parametrelerin optimum seviyelerinin tespit edilmesinde, yukarıda bahsedilen üç karakteristiğe ait performans istatistiği formülleri aşağıdaki gibidir.

En büyük en iyi için:

Bu durumda, y 'nin hedef değeri sonsuzdur ve sinyal/gürültü oranı aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$SN_L = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{n=1}^n \frac{1}{y^2} \right] \quad (2.9)$$

En küçük en iyi için:

Bu tür problemlerde, kalite değişkeni y 'nin hedef değeri sıfırdır. Bu durumda sinyal/gürültü oranı şöyle tanımlanır:

$$SN_S = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{n=1}^n y^2 \right] \quad (2.10)$$

Hedef değer en iyi:

Bu tür problemlerde, y için belli bir hedef değer (örneğin tane boyutu gibi) verilmiştir. Bu durumda,

$$SN_N = -10 \log \left(\overline{y^2} / S \right) \quad (2.11)$$

Her üç problemde de, amaç SN oranını maksimize etmektir. Taguchi'ye göre, SN oranlarının maksimize edilmesi, bir yandan sinyali artırırken, diğer yandan da varyansı azaltmaktadır [9].

Yukarıdaki denklemlerde, n tekrar edilen deney sayısı, y performans değeri (bu çalışmada B₂O₃'ün dönüşüm kesri) dir. Bir proseste amaç, maksimum değere ulaşmak ise, SN_L değerini maksimum yapan parametre seviyeleri optimumdur. Eğer amaç minimuma ulaşmaksa bu durumda SN_S yi maksimum yapan parametre seviyeleri optimumdur.

Taguchi yönteminde optimum çalışma şartlarına karşılık gelen deney yapılan deney planında mevcut değilse performans değeri [16].

$$Y_i = \mu + X_i + e_i \quad (2.12)$$

eşitliği yardımı ile tahmin edilebilir. Burada; Y_i : i. deneyin tahmin edilen performans değeri, X_i : i. deneyde kullanılan parametre seviyelerinin toplam etkinlik boyutu, e_i : deneysel hatadır.

Deney sonuçları yüzde olarak verilmişse, (2.13) eşitlik kullanılmadan önce elde edilen yüzde değerlerin omega dönüşümü yapılır. Daha sonra elde edilen değerlerden optimum şartlar için tahmin edilen omega (Ω) değeri bulunur ve nihayetinde aynı eşitlik kullanılarak ters dönüşüm yapılır [13].

$$\Omega(db) = -10 \log \left(\frac{1}{p} - 1 \right) \quad (2.13)$$

Burada $\Omega(db)$, desibel değer, p deneysel olarak elde edilen yüzde değerdir. Eşitlik (2.13) ilave modelin uygun olup olmadığının belirlenmek için deneysel veriler kullanılarak hesaplanmış bir tahmin olduğundan dolayı, tahmini hata için güven aralığı değerlendirilmek zorundadır [16]. Tahmini hata gözlenen p ile tahmin edilen p arasındaki farktır. Tahmini hata için güven aralığı (S_e) aşağıdaki eşitlikler yardımı ile bulunur.

$$S_e = \pm 2 \sqrt{\left(\frac{1}{n_0} \right) \sigma_e^2 + \left(\frac{1}{n_r} \right) \sigma_e^2} \quad (2.14)$$

$$\sigma_e^2 = \frac{\text{Hata kareleri toplamı}}{\text{Hata için serbestlik derecesi}} \quad (2.15)$$

$$\frac{1}{n_0} = \frac{1}{n} + \left[\frac{1}{n_{A_i}} - \frac{1}{n} \right] + \left[\frac{1}{n_{B_i}} - \frac{1}{n} \right] + \left[\frac{1}{n_{C_i}} - \frac{1}{n} \right] + \dots \quad (2.16)$$

Burada; S_e iki standart sapmanın güven aralığı, n deney tasarımındaki deney sayısı, n_r doğrulama deneyinin tekrar sayısı ve n_{A_i} , n_{B_i} , n_{C_i} , ... A, B, C parametrelerinin i . seviyelerinin numarası. Eğer tahmini hata, bu sınırlar dışında ise, bu modelin uygun olmadığı farz edilir [16].

3- GEREÇ VE YÖNTEM

Çalışmalarda kullanılan tekstil sanayii atıksuyu yerel bir tekstil fabrikasından temin edilmiştir. Kimyasal çöktürme çalışmaları Erciyes Üniversitesi Çevre Mühendisliği Laboratuvarlarında yürütülmüştür. Kimyasal çöktürme deneylerinde koagulant madde olarak alum $[Al_2(SO_4)_3]$ kullanılmış olup "Taguchi metodu"na göre oluşturulan deney tasarım matrisi Tablo 3.1'de verildiği gibidir.

Tablo 3.1. Taguchi Deney Tasarım Matrisi (L_{25})

pHi	Dozaj	YKH	HKH	Co
1	1	1	1	1
1	2	2	2	2
1	3	3	3	3
1	4	4	4	4
1	5	5	5	5
2	1	2	3	4
2	2	3	4	5
2	3	4	5	1
2	4	5	1	2
2	5	1	2	3
3	1	3	5	2
3	2	4	1	3
3	3	5	2	4
3	4	1	3	5
3	5	2	4	1
4	1	4	2	5
4	2	5	3	1
4	3	1	4	2
4	4	2	5	3
4	5	3	1	4
5	1	5	4	3

5	2	1	5	4
5	3	2	1	5
5	4	3	2	1
5	5	4	3	2

çalışma prosedürü:

- Efektif hacmi 600 ml'lik beherlere 250 ml atıksu ilave edildikten sonra Tablo 3.1'de verilen deney planına uygun olarak atıksuyun özellikleri (Başlangıç pH'sı, KOİ konsantrasyonu) ve sistemin diğer değişkenleri (Yavaş karıştırma hızı, Hızlı karıştırma hızı, koagülant dozajı) ayarlanmış ve denemeler ikişer tekrarlı olarak yürütüldükten sonra alınan numuneler filtre edilerek santrifüjlenmiş ve ardından renk, KOİ, bulanıklık vb. ölçümler yapılmıştır.

Tablo 3.1'de verilen değişken ve seviyeleri tablo 3.2'de verildiği gibidir.

Tablo 3.2. Optimizasyon denemelerinde kullanılan değişkenler ve aralıkları

Değişkenler	Seviyeler				
	1	2	3	4	5
Başlangıç pH Değeri (-)	4	5	6	8	9
Başlangıç KOİ (mgO ₂ /L)*	Co	Co/2	Co/4	Co/8	Co/10
Hızlı Karıştırma Hızı (Dev/Dak.)	100	125	150	200	250
Yavaş Karıştırma Hızı (Dev/Dak.)	20	30	40	50	60
Dozaj (mgAl ³⁺ /L)*	0	50	100	200	400

4- BULGULAR

Deneysel çalışmalar öncesinde bölümümüz laboratuvar imkânları dâhilinde projede belirlenmesi gereken atıksu renk değerlerine ek olarak bulanıklık ve KOİ değerleri de incelenmiştir. Bu amaçla KOİ deneyleri için (0–100 mg/L ve 100 – 1000 mg/L aralığında) spektrofotometrik kalibrasyon eğrileri oluşturulmuştur (Şekil 4.1 – 4.2). Daha sonra Kayseri'de üretim yapan bir tekstil endüstrisi atıksu arıtma tesisi girişinden atıksu numunesi alınarak bölümümüz laboratuvarlarında atıksuyun karakterizasyonu belirlenmiş ve atıksuyun kirletici özelliği ortaya konulmuştur (Tablo 4.3).

Tablo 4.3. Tekstil Atıksuyunun Kirlilik Parametreleri (Atıksu Karakterizasyonu)

Kirlilik Parametresi	Değeri
pH	12,53
Bulanıklık	124 NTU

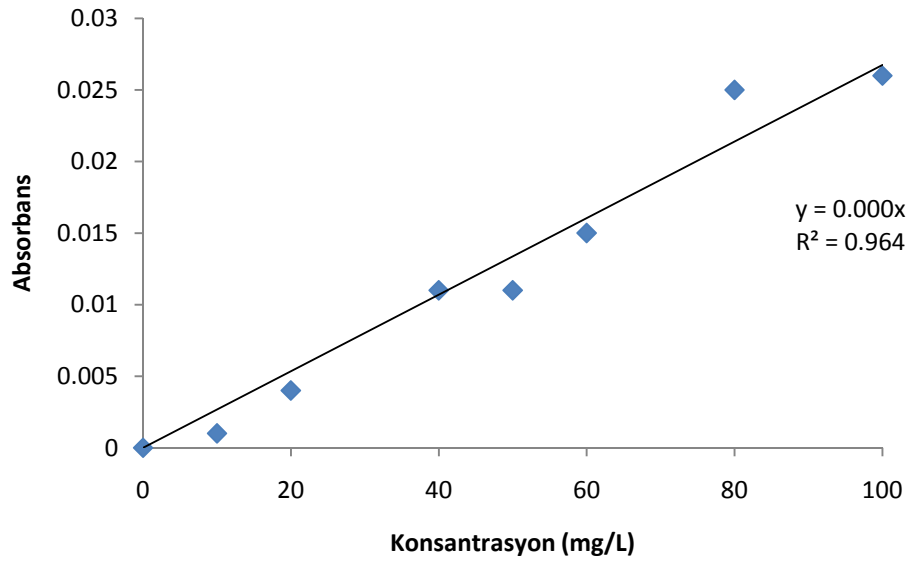
İletkenlik	20,47 mS/cm
AKM	453,33 mg/L
Filtre edilmiş KOI	1.925 mg/L
Filtre edilmemiş KOI	2.233,34 mg/L

Deneyssel tasarım matrisinde belirlenen parametrik değerlere uygun şekilde bir seri ön deneme yapmak amacıyla alum (Al^{+3}) ile kimyasal çöktürme işlemi uygulanmış ve sonuçları değerlendirilmiştir. Buna göre elde edilen sonuçlar Tablo 4.4’de verildiği gibidir.

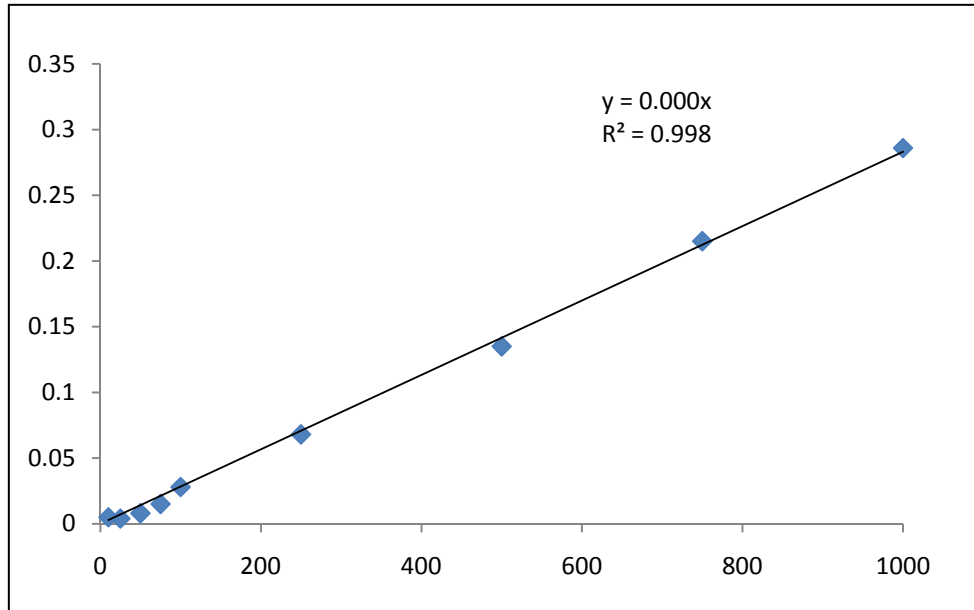
Tablo 4.4. Alum ile kimyasal çöktürme ön-denemelerinde elde edilen sonuçlar

Deney No	pHi	Dozaj	YKH	HKH	Co	KOI (mg/l)	Renk (Abs)	Bulanıklık (NTU)
1	1	1	1	1	1	4169,90	0,728	62,5
						3805,25	0,803	64,3
						3743,60	0,713	60
2	1	2	2	2	2	1879,70	0,420	64,6
						1802,20	0,422	59,5
						1862,10	0,321	51,7
3	1	3	3	3	3	843,49	0,071	15,4
						849,48	0,086	16,4
						853,36	0,078	15,8
4	1	4	4	4	4	438,66	0,023	5,58
						414,35	0,021	5,38
						415,05	0,019	5,44

Atıksuya ait renk verilerinin tayin edilebilmesi amacıyla spektrofotometrede (Hach Lange DR 2500) maksimum absorbans taraması yapılmış ve 600 nm dalga boyu renk ölçümleri için uygun dalga boyu olarak belirlenmiştir. Bulanıklık verileri ise türbidimetre (WTW Turb 430-IR) ile enstrümental olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.1. 0-100 mg/L konsantrasyon aralığı için KOI kalibrasyon grafiği



Şekil 4.2. 0-1000 mg/L konsantrasyon aralığı için KOI kalibrasyon grafiği

***Proje kapsamında gerçekleştirilen materyal, yöntem ve kapsam değişiklikleri;*

Proje yazım aşamasında proje başvuru formunda optimizasyon denemelerinde kullanılan değişkenler ve aralıkları Tablo 4.5’de verildiği gibiydi (bkz. başvuru formu Tablo 5.2).

Tablo 4.5. Optimizasyon Denemelerinde Kullanılan Değişkenler ve Aralıkları

Değişkenler	Seviyeler				
	1	2	3	4	5
Başlangıç pH Değeri (-)	4	5	6	8	9
Başlangıç KOİ (mgO ₂ /L)*	C ₀	C ₀ /2	C ₀ /4	C ₀ /8	C ₀ /10
Hızlı Karıştırma Hızı (Dev/Dak.)	100	125	150	200	250
Yavaş Karıştırma Hızı (Dev/Dak.)	20	30	40	50	60
Dozaj (mgAl ⁺ ₃ /L)*	0	50	100	200	400

Ancak projenin deneysel aşamasında, kimyasal çöktürme deneylerinde kullanılan jar testi deney cihazının temel özellikleri nedeniyle deney matrisinde çeşitli değişiklikler yapılmak zorunda kalınmıştır. Bu sebeple deney matrisinin değiştirilmesi ile ortaya çıkan yeni değişkenler ve aralıkları Tablo 4.6’da verildiği gibidir.

Tablo 4.6. Değişiklik Yapılan Değişkenler ve Aralıkları

Değişkenler	Seviyeler				
	1	2	3	4	5
Başlangıç pH Değeri (-)	4	5	6	8	9
Başlangıç KOİ (mgO ₂ /L)*	C ₀	C ₀ /2	C ₀ /4	C ₀ /8	C ₀ /10
Hızlı Karıştırma Hızı (Dev/Dak.)	60	90	120	150	200
Yavaş Karıştırma Hızı (Dev/Dak.)	15	30	45	60	90
Dozaj (mgAl ⁺ ₃ /L)*	0	50	100	200	400

Ayrıca projede kimyasal çöktürme sonrasında kimyasal analizler için süzme işlemi yapılması öngörülmekteydi. Ancak gerek zaman açısından fayda sağlayacağı ve gerekse de daha etkin bir yöntem olacağı düşüncesiyle kimyasal çöktürme sonrasında numunelerin santrifüjlenmesinin daha uygun olacağına karar verilmiştir. Bu sebeple deneysel çalışmalarımızda filtre kâğıdı ile süzme yerine santrifüjleme işlemi uygulanmıştır.

Projenin ikinci ara rapor döneminde (19.03.2011–01.08.2011) proje başvuru formunda taahhüt edildiği üzere Taguchi deneysel tasarım matrisine uygun olarak deneysel çalışmalar tamamlanmış ve atıksuyun renk, bulanıklık ve KOİ giderim yüzdeleri belirtilen aralıklar için tespit edilmiştir. Elde edilen veriler tablo 4.7’de sunulmuştur. Tablo 4.7. içerisindeki kısaltmalar aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır;

PÇ: Kimyasal çöktürme işlemi sonrasında arıtılmış suyun pH değeri

DS: Taguchi metodu ile belirlenen matrise göre uygulanan alum (Al^{+3}) seviyesi

DD: Matriste her bir seviyeye bağlı alum konsantrasyonu (mg/L)

YS: Taguchi metodu ile belirlenen matrise göre kimyasal çöktürme işlemi için yavaş karıştırma hızı seviyesi

YD: Matriste her bir seviyeye bağlı yavaş karıştırma hızları (rpm)

HS: Taguchi metodu ile belirlenen matrise göre kimyasal çöktürme işlemi için hızlı karıştırma hızı seviyesi

HD: Matriste her bir seviyeye bağlı hızlı karıştırma hızları (rpm)

CS: Taguchi metodu ile belirlenen matrise göre atıksu seyreltme seviyesi

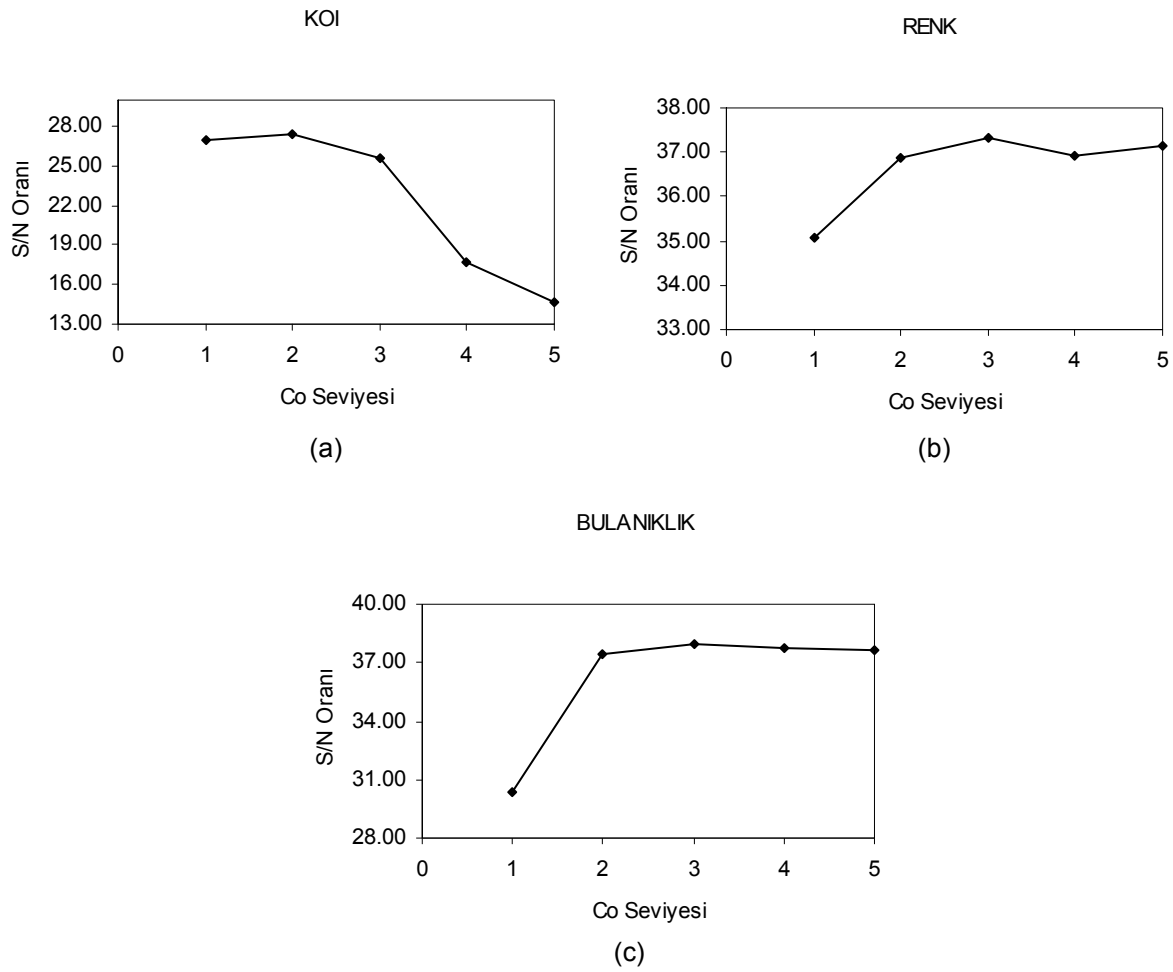
CD: Matriste her bir seviyeye bağlı atıksu seyreltme oranı

Model ile belirlenen deneyler tamamlanarak sonuçları elde edilmiş ve daha sonra verilerin MINITAB Release 13.20 kullanılarak istatistiksel analizi adımına geçilmiştir. Deneysel çalışmalar tüm performans analizleri için ikişer tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Analiz adımıyla çalışma başlangıcında L_{25} (5 değişken x 5 seviye) ortogonal seri olarak tasarlanan modele ait veriler programa girilerek kimyasal çöktürme deneyinde etkin rol oynayan parametreler için uygun parametrik seviyeler belirlenmiş, bu değişkenler için performans grafikleri çıkarılmış, ANOVA analizi ile her bir parametrenin etkinlik yüzdeleri belirlenmiş ve sistem için optimum koşullar tanımlanmıştır.

Tablo 4.7. Tekstil Endüstrisi Atıksuyu için Taguchi Yöntemi ile Kimyasal Çöktürme Performans Çıktıları (Giderim Verimleri)

Deney No	PARAMETRELER										PERFORMANS								
	pHi		Dozaj (mg Al/L)		YKH (rpm)		HKH (rpm)		C _o (mg/L)		KOI			Renk (Abs)			Bulanıklık (NTU)		
	PÇ1	PÇ2	DS	DD	YS	YD	HS	HD	CS	CD	1	2	ORT	1	2	ORT	1	2	ORT
1	3,99	4,04	1	0	1	15	1	60	1	C _o	8,52	7,61	8,07	25,46	20,16	22,81	5,63	4,72	5,18
2	3,44	3,58	2	50	2	30	2	90	2	C _o /2	24,50	20,22	22,36	80,92	82,18	81,55	88,70	86,65	87,68
3	3,36	3,43	3	100	3	45	3	120	3	C _o /4	21,20	18,63	19,92	84,52	87,70	86,11	87,02	90,54	88,78
4	3,37	3,41	4	200	4	60	4	150	4	C _o /8	34,97	34,97	34,97	96,95	96,09	96,52	95,18	95,60	95,39
5	3,53	3,51	5	400	5	90	5	200	5	C _o /10	21,28	20,11	20,69	97,28	92,79	95,04	98,08	94,38	96,23
6	5,28	5,71	1	0	2	30	3	120	4	C _o /8	0,00	0,00	0,00	20,83	24,19	22,51	30,45	31,94	31,19
7	4,08	3,88	2	50	3	45	4	150	5	C _o /10	16,00	15,02	15,51	95,60	91,32	93,46	95,84	90,83	93,33
8	4,27	3,99	3	100	4	60	5	200	1	C _o	23,83	26,98	25,40	89,51	87,06	88,29	86,59	84,98	85,79
9	3,95	3,67	4	200	5	90	1	60	2	C _o /2	27,57	28,78	28,17	95,88	92,49	94,18	95,23	91,67	93,45
10	3,69	3,52	5	400	1	15	2	90	3	C _o /4	9,22	7,65	8,43	97,90	98,19	98,05	97,39	96,38	96,88
11	6,56	5,23	1	0	3	45	5	200	2	C _o /2	6,32	5,98	6,15	20,51	24,66	22,58	30,92	30,19	30,55
12	4,26	4,32	2	50	4	60	1	60	3	C _o /4	39,74	40,52	40,13	91,18	91,87	91,53	90,59	92,44	91,52
13	4,22	3,98	3	100	5	90	2	90	4	C _o /8	33,53	32,01	32,77	97,34	96,00	96,67	96,05	96,58	96,31
14	4,11	3,78	4	200	1	15	3	120	5	C _o /10	31,72	31,72	31,72	97,32	95,36	96,34	95,82	96,93	96,37
15	4,14	3,97	5	400	2	30	4	150	1	C _o	46,33	42,93	44,63	97,56	96,44	97,00	96,15	90,14	93,15
16	8,14	7,85	1	0	4	60	2	90	5	C _o /10	0,00	0,00	0,00	22,66	24,18	23,42	33,33	28,66	31,00
17	7,13	7,05	2	50	5	90	3	120	1	C _o	13,61	13,88	13,74	30,69	32,56	31,63	8,74	15,18	11,96
18	4,92	4,85	3	100	1	15	4	150	2	C _o /2	44,05	39,05	41,55	98,86	96,93	97,90	98,57	94,51	96,54
19	4,14	4,20	4	200	2	30	5	200	3	C _o /4	49,71	55,19	52,45	97,88	98,09	97,98	96,40	97,34	96,87
20	3,88	3,90	5	400	3	45	1	60	4	C _o /8	42,90	42,94	42,92	97,28	74,60	85,94	95,84	97,94	96,89
21	9,15	8,94	1	0	5	90	4	150	3	C _o /4	8,43	6,93	7,68	27,78	29,49	28,63	37,11	41,77	39,44
22	4,50	4,77	2	50	1	15	5	200	4	C _o /8	42,58	40,44	41,51	97,06	95,72	96,39	96,12	94,34	95,23
23	4,23	4,28	3	100	2	30	1	60	5	C _o /10	37,31	35,57	36,44	97,73	97,14	97,44	96,82	96,49	96,65
24	4,71	4,83	4	200	3	45	2	90	1	C _o	42,86	44,90	43,88	96,26	97,16	96,71	85,08	90,50	87,79
25	4,10	4,35	5	400	4	60	3	120	2	C _o /2	46,17	47,43	46,80	98,57	98,60	98,58	95,80	96,37	96,08

Yazım alanları gerektiği kadar uzatılabilir



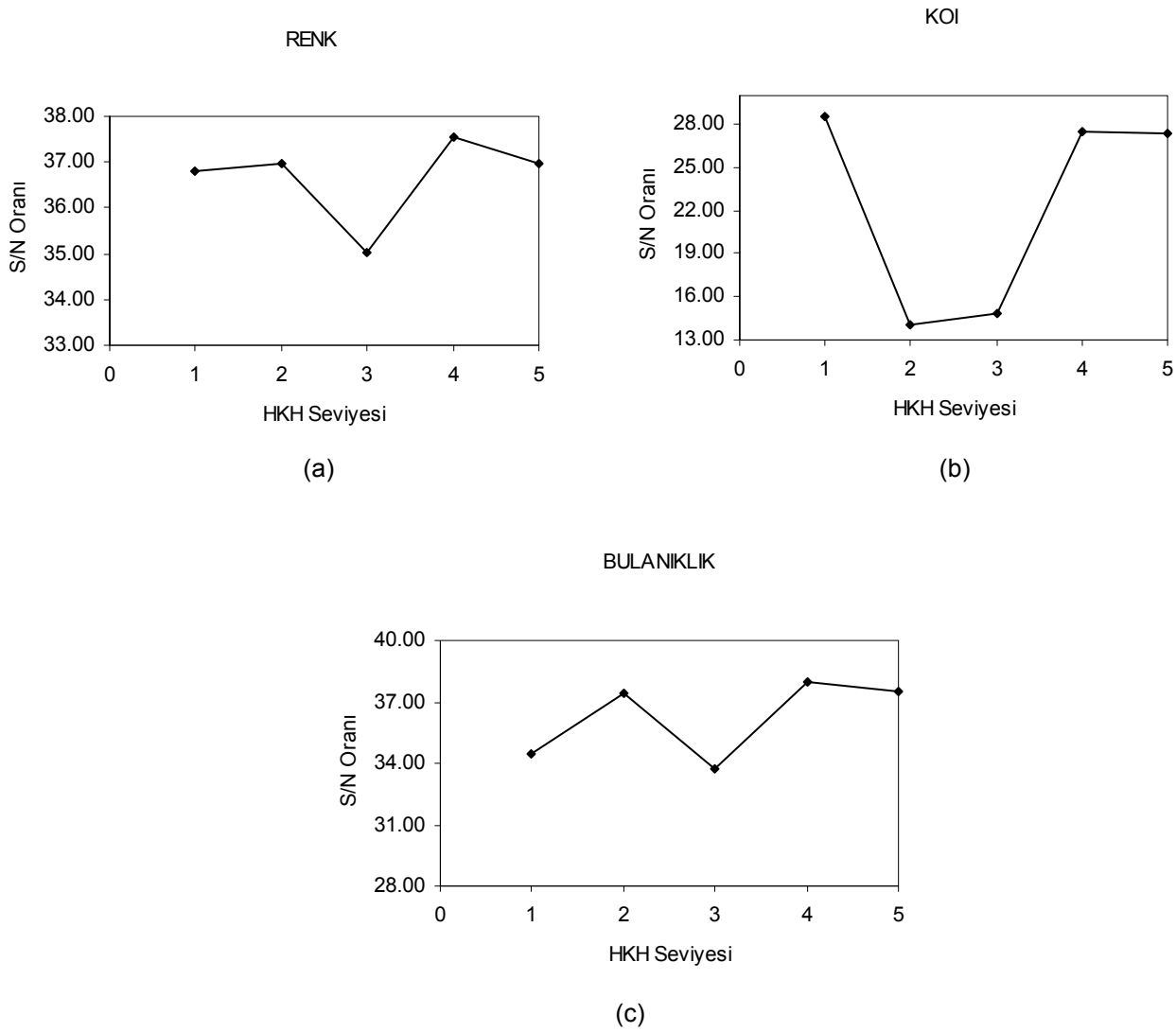
Şekil 4.3. (a) Kimyasal koagülasyonla KOI giderimi üzerine farklı giriş konsantrasyonlarının etkisi (b) Kimyasal koagülasyonla renk giderimi üzerine farklı giriş konsantrasyonlarının etkisi (c) Kimyasal koagülasyonla bulanıklık giderimi üzerine farklı giriş konsantrasyonlarının etkisi

Atıksuyun karakterizasyonunda görüldüğü üzere (Tablo 4.3.) kullanılan atıksu %13,81 oranında partiküler KOI içermektedir. Tablo 4.7’de 1,6,11,16 ve 21 nolu denemelerde de görülebileceği üzere yumaklaştırıcı dozu sıfırdır. Dolayısıyla bu denemelerde elde edilen giderme verimleri fiziksel arıtmadan (santrifüjleme) ileri gelmektedir. Tablo 4.7.’den de görüleceği üzere bahsi geçen denemeler için giriş kirletici konsantrasyonları büyükten küçüğe sıralandığında %8.07, %6.15, %7.68, %0 ve %0 lık giderim verimleri elde edilmiştir. İlgili tabloda son iki konsantrasyon aralığında ($C_0/8$ ve $C_0/10$) seyrelme etkisi sebebiyle giderme verimleri gözlenmemiştir. Şekil 4.3.(a)’da görüldüğü gibi başlangıç konsantrasyonunun optimum koşulu 2 nolu parametrik seviyede ($C_0/2$) gerçekleşmektedir.

Giriş konsantrasyonunun renk giderimi üzerindeki etkisi şekil 4.3. (b)’de verilmektedir. Şekil 4.3. (b)’de görüldüğü gibi en iyi giderim performansının elde edildiği giriş konsantrasyonu 3 nolu

parametrik seviyedir (Co/4). Şekilden açıkça görülmektedir ki, yüksek boya konsantrasyonları renk giderimini zorlaştırmaktadır. Ancak diğer taraftan boya konsantrasyonunun belirli bir orandan fazla seyreltilmesi ise renk giderim performansını önemli ölçüde etkilememektedir. Bunun sebebi ise boyama amaçlı kullanılan boyarmaddenin tipik özelliğine bağlı olarak suda çözünür yapıda oluşu ve belirli giderim oranından sonra giderilemeyen kalıcı renk bırakmasıdır.

Renk giderimine benzer şekilde bulanıklık parametresi için de aynı durum söz konusudur. Şekil 4.3. (c)'de görüldüğü gibi bulanıklık giderimi için yine en uygun giderim veriminin elde edildiği giriş konsantrasyonu 3 nolu parametrik seviyedir (Co/4). Bulanıklığı meydana getiren temel unsurun atıksuda mevcut askıda katı parçacıklar olduğu ve çözeltide ışığın kırılma ve absorbe olmasına neden olan optik bir özellik olduğu hatırlanacak olursa renk için yapılan yorumla paralel olarak yüksek konsantrasyonlar için bulanıklık gideriminin düşük konsantrasyonlara göre daha zor gerçekleştiği ancak diğer taraftan suda çözünmüş boyarmadde türlerinin belirli bir seyrelme oranından sonra ancak çok düşük miktarlarda giderilebileceği sonucuna varılabilir.



Şekil 4.4. (a) Kimyasal Koagülasyonla KOI Giderimi Üzerine Farklı Hızlı Karıştırma Hızlarının Etkisi (b) Kimyasal Koagülasyonla Renk Giderimi Üzerine Farklı Hızlı Karıştırma Hızlarının Etkisi (c) Kimyasal Koagülasyonla Bulanıklık Giderimi Üzerine Farklı Hızlı Karıştırma Hızlarının Etkisi

Hızlı karıştırma hızlarının KOI giderimi üzerine etkisi şekil 4.4. (a)'da sunulmaktadır. Hızlı karıştırma aralığı 60-200 rpm'dir. Şekil 4.4 (a)'da da görüleceği üzere bu parametrelerin optimum seviyesi 1 nolu seviye olup buradaki parametrik değer 60 rpm'dir. Hızlı karıştırma işlemi, koagülasyon sırasında arıtılacak su ile koagülasyona yol açacak kimyasal maddelerin homojen olarak karışmasını sağlamak amacıyla kullanılan bir işlemdir. Hızlı karıştırma, su arıtma tesislerinde boyut olarak küçük tanklarda yüksek oranda enerji verilmesiyle (güçlü karıştırma motorları) gerçekleştirilir. Hızlı karıştırma süresi için literatürde verilen sonuçlar 1-2 dakikalık sürenin yeterli olacağını ifade etmektedir. Hızlı karıştırma işlemi için gerekli devir hızı aşağıdaki formüle göre belirlenmektedir.

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}}$$

Burada;

G: Hız gradyanı (1/s),

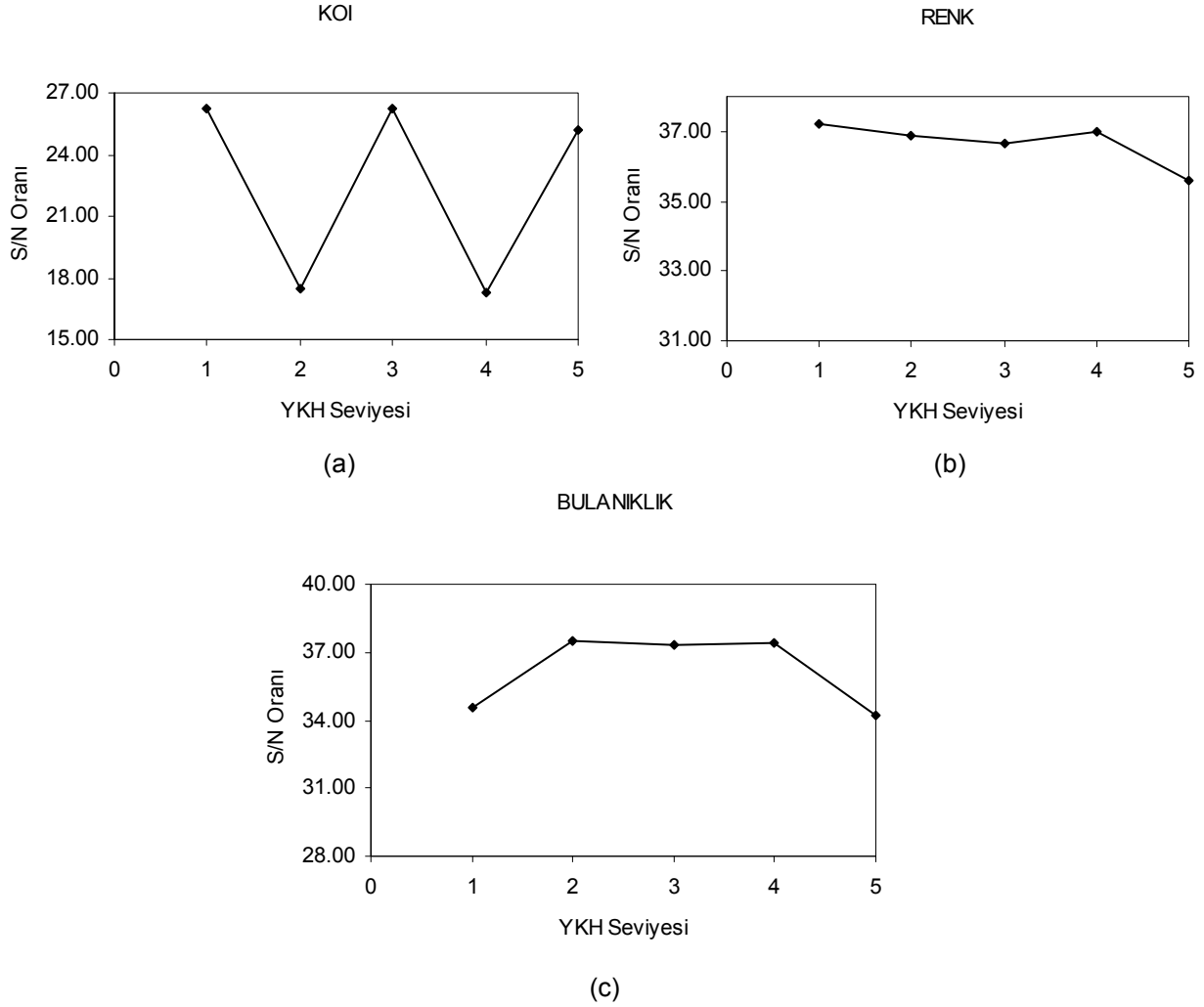
P: Karıştırıcı motorun gücü (N.m/s)

μ : Atıksuyun dinamik vizkozitesi (N.s/m²)

V: Tank hacmi (m³)

Buna göre yüksek karıştırma hızları işletim maliyetini ciddi boyutta arttırabilmektedir [8]. Dolayısıyla, bu çalışma için 4 ve 5 nolu seviyelerde de optimum değere çok yakın değerler elde edilmesine rağmen bu seviyelerdeki karıştırma hızlarının sırasıyla 150 ve 200 rpm olduğu hatırlanırsa (Tablo 4.7.) 60 rpm'in üzerine çıkılmasının gerekli olmadığı düşünülebilir.

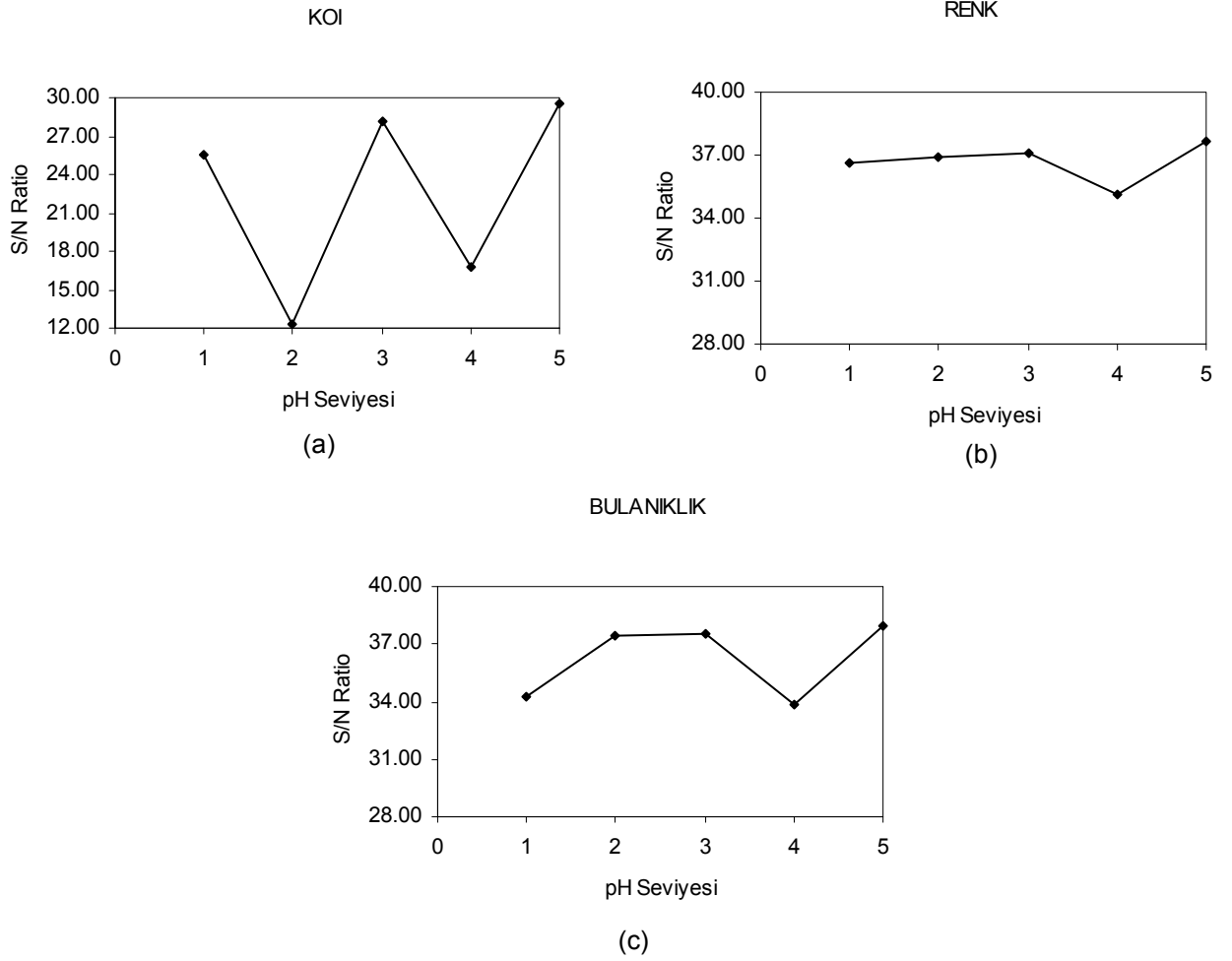
Renk giderimi için hızlı karıştırma hızının etkisi şekil 4.4. (b) de görülmektedir. Renk giderimi açısından en iyi sonuçlar 4 nolu parametrik seviyede (150 rpm) elde edilmiştir. Bulanıklık giderimi için en iyi giderim verimi ise yine renk giderimine benzer şekilde 4 nolu parametrik seviyede (150 rpm) elde edilmiştir (Şekil 4.4. (c)).



Şekil 4.5. (a) Kimyasal Koagülasyonla KOI Giderimi Üzerine Farklı Yavaş Karıştırma Hızlarının Etkisi (b) Kimyasal Koagülasyonla Renk Giderimi Üzerine Farklı Yavaş Karıştırma Hızlarının Etkisi (c) Kimyasal Koagülasyonla Bulanıklık Giderimi Üzerine Farklı Yavaş Karıştırma Hızlarının Etkisi

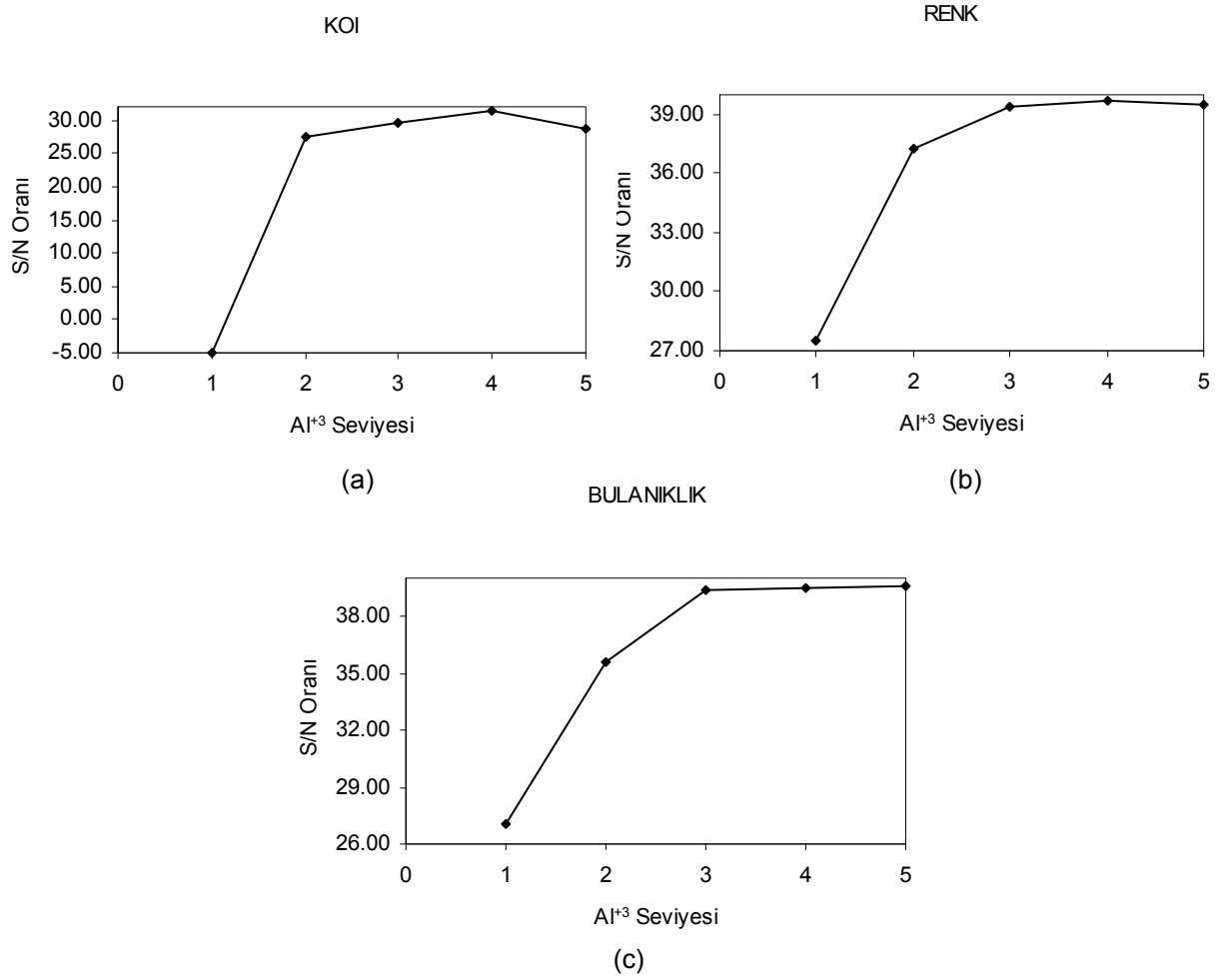
Yavaş karıştırma hızının kimyasal koagülasyonla KOI giderimi üzerindeki etkisi şekil 4.5 (a)'da verilmektedir. Bu değişken parametre için deneysel tasarım matrisinde belirtilen seviye aralığı 15-90 rpm'dir. Şekil 4.5. (a)'da görüldüğü üzere karıştırma hızları açısından 1, 3 ve 5. seviyeler sırasıyla 15, 45 ve 90 rpm'lik karıştırma hızları benzer giderim sonuçları sergilemektedir. Uygun hızlı karıştırma hızının seçimiyle ilgili olarak yapılan analiz değerlendirmesi ile benzer şekilde tesis işletimi için işletim maliyeti açısından düşünüldüğünde 1. seviye olarak belirtilen 15 rpm'lik karıştırma hızının KOI giderimi açısından uygun olacağı düşünülmektedir.

Yavaş karıştırma hızının renk giderimi ile ilişkisi şekil 4.5. (b)'de verilmektedir. 1. ve 4. seviyede (15 ve 60 rpm) giderim verimleri birbirine çok benzer sonuçlar vermektedir. Bulanıklık giderimi için ise belirlenen optimum yavaş karıştırma seviyeleri 2. ve 4. parametrik seviyelerdir (30 ve 60 rpm) (Şekil 4.5. (c)). Dolayısıyla bu renk ve bulanıklık giderimi için en uygun yavaş karıştırma hızları sırasıyla 15 ve 30 rpm olarak seçilebilir.



Şekil 4.6. (a) Giriş Atıksu pH'sının Kimyasal Koagülasyonla KOI Giderimi Üzerine Etkisi (b) Giriş Atıksu pH'sının Kimyasal Koagülasyonla Renk Giderimi Üzerine Etkisi (c) (a) Giriş Atıksu pH'sının Kimyasal Koagülasyonla Bulanıklık Giderimi Üzerine Etkisi

Atıksuyun pH değeri 12,53 civarındadır. Şekil 4.6 (a)'da görüldüğü üzere KOI giderimi için başlangıç pH'sının optimum koşulu bu parametrenin 5. seviyesi olan ($pH_i=9$) noktasında sağlanmaktadır. Renk ve bulanıklık giderimi için sonuçlar KOI'den farklı değildir (Şekil 4.5. (b)(c)). Giderim sonuçları için en uygun giriş pH'sının 9 olduğu görülmektedir. Optimuma yakın mertebedeki katkı 3. seviyede de elde edilmesine rağmen giriş suyunun orijinal pH'sı dikkate alındığında pH'nın 9'a ayarlanması daha az kimyasal madde kullanılması diğer bir ifadeyle sistem ekonomisi bakımından avantaj sağlamaktadır.



Şekil 4.7. (a) Kimyasal Koagülasyonla KOI Giderimi Üzerine Farklı Al^{+3} Konsantrasyonunun Etkisi (b) Kimyasal Koagülasyonla Renk Giderimi Üzerine Farklı Al^{+3} Konsantrasyonunun Etkisi (c) Kimyasal Koagülasyonla Bulanıklık Giderimi Üzerine Farklı Al^{+3} Konsantrasyonunun Etkisi

Şekil 4.7 (a) ve (b)'de görüldüğü üzere KOI giderimi için yumaklaştırıcı dozajının optimum noktası 4 nolu parametrik seviye olup, parametrenin bu noktadaki değeri 200 mg Al^{+3} /L dir. Çalışılan aralıkta (0-400 mg Al^{+3} /L) doz yükseldiğinde giderme verimi önemli ölçüde etkilenmemekte, ayrıca fazla miktarda çamur oluşumuna neden olmaktadır [17]. Sistemin bu davranışının aşırı dozlama sebebiyle sistemin yeniden stabilize olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bulanıklık giderimi içinse en iyi giderim verimine 5. parametrik seviye olan 400 mg Al^{+3} /L koagulant konsantrasyonunda ulaşılmıştır (Şekil 4.7. (c)). Ancak şekil 4.7. (c) de görüleceği üzere 4 ve 5. düzeylerdeki giderim verimlilikleri hemen hemen benzerdir. Dolayısıyla arıtma maliyeti açısından düşünüldüğünde diğer performans kriterlerinde olduğu gibi bulanıklık giderimi için de koagulant dozunun 4. parametresi (200 mg Al^{+3} /L) yeterli giderim etkinliğini sağlayacaktır.

4.1. Kimyasal Çöktürme Deneyleri İçin Sistem Değişkenlerinin Giderim Performansı Üzerindeki Katkı Yüzdeleri

Bu çalışma için seçilen üç farklı performans kriteri sırasıyla KOI, renk ve bulanıklıktır. Yürütülen deneysel çalışmalar neticesinde elde edilen verilerin ANOVA analizi ile kimyasal çöktürme denemelerinde bu üç performans kriterini etkileyen 5 farklı değişkenin ayrı ayrı katkı payları belirlenmiştir. Aşağıda verilen tablo parametreleri göz önüne alındığında katkı paylarının (Cr) hesaplanması aşağıdaki formülle ifade edilebilir;

$$Cr = \frac{Seq\ SS - (DF \times AdjMS_{Error})}{Seq\ SS_{Total}}$$

İlk performans kriteri olan kimyasal oksijen ihtiyacı (KOI) için değişkenlere ait katkı payları Tablo 4.8’de sunulmuştur. Buna göre sistem verimliliğini etkileyen en önemli değişkenin Al^{+3} konsantrasyonu olduğu söylenilebilir. Al^{+3} yalnız başına tüm sistem performansının yaklaşık olarak %55’ini oluşturmaktadır. 0 – 400 mg/L aralığında uygulanan Al^{+3} konsantrasyonu için uygulanan kimyasal dozu ile KOI gideriminin önemli ölçüde değişim gösterdiği anlaşılmaktadır. Diğer taraftan ikinci etkin parametre ise giriş pH’sıdır. Çünkü alümla kimyasal koagülasyon işlemi için bilinen bir pH aralığı bulunmaktadır (5 – 7) ve kullanılan koagülantın çözünürlüğü bu pH’da oldukça düşüktür [18]. Bu bakımdan belirlenen katkı paylarına göre sonuçların anlamlı olduğu düşünülmektedir. Sistem üzerinde etkili olan diğer değişkenlerin önem sıralaması ise sırasıyla hızlı karıştırma hızı (%5,35), yavaş karıştırma hızı (%4,51) ve başlangıç atıksu konsantrasyonu (%3,56) şeklindedir.

Tablo 4.8. KOI Giderim Performansı için Sistem Değişkenlerinin Kimyasal Çöktürme Üzerindeki Katkı Yüzdeleri

Parametre	DF	Seq SS	Adj MS	F	Cr	P
pH	4	2597.79	649.45	24.00	20.37	0,000
Al^{+3}	4	6874.37	1718.59	63.51	55.36	0,000
YKH	4	659.81	164.95	6.10	4.51	0,000
HKH	4	761.89	190.47	7.04	5.35	0,000
Co	4	543.41	135.85	5.02	3.56	0,000
Error	29	784.71	27.06			
Total	49	12.221.97				

Çalışma için diğer bir performans kriteri ise renk giderimidir. Katkı yüzdeleri renk giderimi açısından değerlendirildiğinde KOI’ye göre farklılıklar göze çarpmaktadır. Tablo 4.9’da görüldüğü gibi bu

parametre için yine giderim verimi bakımından en büyük paya sahip değişken Al^{+3} konsantrasyonudur. Ancak renk giderimi için kullanılan koagulant dozu neredeyse tüm prosesi kontrol etmektedir (%85,73). Katkı payları açısından renk giderimi için karşılaştırma yapıldığında ise Al^{+3} dozuna kıyasla diğer tüm parametrelerin çok düşük oranlara sahip olduğu ve neredeyse birbirlerine benzer düzeylerde oldukları görülmektedir. Sıralama ise büyükten küçüğe doğru sırasıyla HKH (%3,14), Co (%2,96), pH (%2,13) ve son olarak YKH (%1,93) şeklindedir.

Tablo 4.9. Renk Giderim Performansı için Sistem Değişkenlerinin Kimyasal Çöktürme Üzerindeki Katkı Yüzdeleri

Parametre	DF	Seq SS	Adj MS	F	Cr	P
pH	4	1105,4	276,4	7,34	2,13	0,000
Al^{+3}	4	38613,8	9653,5	256,27	85,73	0,000
YKH	4	1017	254,3	6,75	1,93	0,001
HKH	4	1560	390	10,35	3,14	0,000
Co	4	1477,2	369,3	9,8	2,96	0,000
Error	29	1092,4	37,7			
Total	49	44.865,8				

Değerlendirilen son performans kriteri ise bulanıklıktır. Tablo 4.10'dan da görüldüğü gibi tüm performans kriterlerine benzer şekilde uygulanan Al^{+3} dozunun bulanıklık giderim performansı üzerindeki katkı payı en büyüktür (%71,99). Bulanıklık açısından sonuçlar göz önüne alındığında diğer parametrelerin aksine katkı payı büyük olan ikinci parametre başlangıç konsantrasyonu (%11,24) ve sırasıyla HKH (%4,35), pH (%3,57) ve katkı payı en düşük parametre ise YKH'dır (%2,33).

Tablo 4.10. Bulanıklık Giderim Performansı için Sistem Değişkenlerinin Kimyasal Çöktürme Üzerindeki Katkı Yüzdeleri

Parametre	DF	Seq SS	Adj MS	F	Cr	P
pH	4	1894	473,5	7,71	3,57	0,000
Al^{+3}	4	33487,1	8371,8	136,33	71,99	0,000
YKH	4	1322	330,5	5,38	2,33	0,002
HKH	4	2253,4	563,4	9,17	4,35	0,000
Co	4	5437,9	1359,5	22,14	11,24	0,000
Error	29	1780,9	61,4			
Total	49	46.175,2				

Proje çalışmalarının son adımında performans kriterlerine ait en iyi giderim verimlerinin sağlandığı optimum koşullar belirlenmiş ve hesaplanan bir güven aralığı bandında gerçekleştirilen doğrulama

deneyleri ile sistem tarafından belirlenen tahmini verimlere uygunluk değerlendirilmiştir. Güven aralığının hesaplanması için aşağıdaki formül kullanılmaktadır;

$$S_e = \pm 2 \sqrt{\frac{1}{n_o} \sigma_e^2 + \frac{1}{n_r} \sigma_e^2}$$

$$\sigma_e^2 = \frac{\text{Hata Kareleri Toplamı}}{\text{Hata için Serbestlik Derecesi}}$$

NOT: σ_e^2 değerlerini ANOVA tablosundaki “AdjMS_{Error}” değerleri vermektedir.

Yukarıdaki formülde;

S_e = Standart sapma güven aralığı

n_r = Doğrulama deneyi tekrar sayısıdır.

$$\frac{1}{n_o} = \frac{1}{n} + \left[\frac{1}{n_{Ai}} - \frac{1}{n} \right] + \left[\frac{1}{n_{Bi}} - \frac{1}{n} \right] + \dots$$

n = Tekrarlar dahil deney sayısı (örneğin L_{25} 'lik bir seride 2 tekrarlı deney yapıldıysa $25+25=50$)

$n_{Ai} = n_{Bi} = \dots = 5$ (Her Parametre için deney sayısı)

Tablo 4.11. Kimyasal Çöktürme Denemeleri için Optimum Koşullarda Gözlenen ve Tahmin Edilen Giderim Verimleri

Perform. Kriteri	pHi		Dozaj (mg Al ³⁺ /L)		YKH (rpm)		HKH (rpm)		Co (mg/L)		Gözlenen (%)	Tahmin edilen (%)	Güven Aralığı
	Seviye	Değer	Seviye	Değer	Seviye	Değer	Seviye	Değer	Seviye	Değer			
KOI	5	9	4	200	1	15	1	60	2	Co/2	41,59	53,36	38,94–67,78
Renk	5	9	4	200	1	15	4	150	3	Co/4	98,63	99,43	82,41–100
Bulanıklık	5	9	5	400	2	30	4	150	4	Co/8	100	99,22	77,50–100

Tablo 4.11’de görüldüğü gibi tahmini olarak tüm performans kriterleri için optimum giderim verimleri belirlenmiş ve belirlenen bu değerlerin gerçekte de tutarlı olduğu gözlenmiştir. Yapılan değerlendirmeler ışığında KOI giderimi için en uygun işletim koşullarının pH 9, 200 mg Al³⁺/L kimyasal dozu, 15 rpm yavaş ve 60 rpm hızlı karıştırma ayrıca Co/2 atıksu konsantrasyonu ile sağlandığı sonucuna varılmıştır. Benzer şekilde renk giderimi için pH 9, 200 mg Al³⁺/L kimyasal dozu, 15 rpm yavaş ve 150 rpm hızlı karıştırma ayrıca Co/4 atıksu konsantrasyonu ve son olarak bulanıklık giderimi için pH 9, 400 mg Al³⁺/L kimyasal dozu, 30 rpm yavaş ve 150 rpm hızlı karıştırma ayrıca Co/8 atıksu konsantrasyonu ile en iyi giderim sonuçlarına ulaşılabileceği belirlenmiştir.

5- TARTIŞMA VE SONUÇ

Proje başvuru formunda projenin kesin rapor dönemi (01.08.2011-26.12.2011) için öngörülen “teorik çalışma ve deneysel çalışmaların karşılaştırılması ve elde edilen sonuçların literatürde yapılan çalışmalar ışığında yorumlanması ve kesin raporun tamamlanması” faaliyetine raporun bu bölümde yer verilmiştir. Çalışma sonucunda Taguchi deney tasarım metodu kullanılarak gerçek tekstil atıksuyu için kimyasal koagülasyonla renk, KOI ve bulanıklık giderimi için optimum değerler belirlenmiştir. Bu bağlamda, performans kriterlerinin hangi parametrelerin etkisiyle ne şekilde değişim gösterdiği aşağıda sıralanmıştır;

Başlangıç Atıksu Konsantrasyonu

Şekil 4.3’de görüldüğü üzere başlangıç atıksu konsantrasyonunun tüm performans kriterleri üzerinde önemli bir etkisi olduğu anlaşılmaktadır. Başlangıç atıksu konsantrasyonunun azalması KOI giderimini düşürmektedir. Kullanılan atıksuyun belirli miktarlarda partiküler KOI ihtiva etmesi yüksek atıksu konsantrasyonlarında iyi bir giderim etkisi sağlarken, boya konsantrasyonunun azalmasıyla birlikte KOI gideriminde düşüşe neden olmaktadır.

Diğer taraftan renk ve bulanıklık parametreleri için değerlendirme yapılacak olursa, atıksuda mevcut boyarmaddenin çözünürlük özelliğine bağlı olarak giderim performansları belirli bir seyrelme oranına kadar (Co/4) logaritmik artış göstermekte ve bu değerden sonra ise kalıcı rengin giderilememesi nedeniyle sabit kalmaktadır. Merzouk ve diğ., 2011, sentetik olarak hazırladıkları dispers tekstil atıksularına kimyasal koagülasyon uyguladıkları bir çalışmada sonuçlarımıza benzer şekilde 100 mg/L’nin üzerindeki başlangıç atıksu konsantrasyonu için alumla kimyasal koagülasyonda ancak sabit bir giderim etkisi elde edebildiklerini rapor etmektedirler. Szygula ve diğ., 2008, koagülant olarak kullandıkları chitosan ile sülfonlu azo boyarmaddelerin renginin giderilebilirliklerini araştırdıkları bir çalışmada boya konsantrasyonundaki azalma ile renk gideriminin azaldığını bildirmektedirler.

Hızlı ve Yavaş Karıştırma Hızları

Şekil 4.4 ve 4.5’de karıştırma hızlarının performans kriterleri üzerindeki etkileri gösterilmiştir. Karıştırma işlemi koagülasyon esnasında uygulanan koagülantın kirletici ile homojen bir şekilde birleşmesini sağlamak amacıyla gerçekleştirilir. Grafiklerden de görüleceği üzere tüm performans ölçütleri karıştırma hızlarından belirli oranlarda etkilenmektedir. Ancak karıştırma hızlarının seçimi maliyeti doğrudan etkileyen bir parametre olduğundan optimizasyon uygulamaları bu noktada önemini ortaya koymaktadır. Verma ve diğ., 2012, karıştırma hızlarının giderim verimlerini etkilediğini bu nedenle bu faktörlerin optimizasyonunun proses verimliliğini önemli ölçüde etkileyeceğini belirtmektedir. Araştırmacı, farklı koagülantların farklı destabilizasyon düzeylerinden etkilendiğini bildirmektedir, böylelikle daha az koagülant ilavesiyle daha yüksek giderim verimliliğine ulaşılabilir.

Atıksu pH’ı

KOI giderimi için başlangıç pH’sının optimum koşulu pH 9 noktasında sağlanmaktadır. Renk ve bulanıklık giderimi için sonuçlar KOI için uygun pH olan 9 değeridir (Şekil 4.5. (b)(c)). Optimuma yakın mertebedeki katkı 3. seviyede de elde edilmesine rağmen giriş suyunun orijinal pH’sı dikkate

alındığında pH'nın 9'a ayarlanması daha az kimyasal madde kullanılması diğer bir ifadeyle sistem ekonomisi bakımından avantaj sağlamaktadır. Birgül ve Solmaz, 2007, gerçek bir tekstil atıksuyu ile gerçekleştirdikleri kimyasal koagülasyon denemesinde alumla kimyasal çöktürme ile renk ve KOI giderimi için en uygun pH'nın 9 olduğunu belirtmektedirler. Bu bağlamda elde ettiğimiz sonuçlar araştırmacıların sonuçlarıyla paralellik göstermektedir.

Al^{+3} Konsantrasyonunun Etkisi

KOI giderimi için yumaklaştırıcı dozajının optimum değeri 200 mg Al^{+3} /L dir. Çalışılan aralıkta (0-400 mg Al^{+3} /L) doz yükseldiğinde giderme verimi önemli ölçüde etkilenmemekte, ayrıca fazla miktarda çamur oluşumuna neden olmaktadır [17]. Sistemin bu davranışının aşırı dozlama sebebiyle sistemin yeniden stabilize olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bulanıklık giderimi içinse en iyi giderim verimine 400 mg Al^{+3} /L koagulant konsantrasyonunda ulaşılmıştır (Şekil 4.7. (c)). Arıtma maliyeti açısından düşünüldüğünde diğer performans kriterlerinde olduğu gibi bulanıklık giderimi için de 200 mg Al^{+3} /L koagulant dozunun yeterli giderim etkinliğini sağlayacağı düşünülmektedir. Benzer sonuçlara Gohary ve Tawfik, 2009 ve Can ve diğ., 2006 tarafından da ulaşılmıştır.

Bu çalışmada ayrıca tüm değişkenlerin performans kriterleri üzerindeki katkı payları belirlenmiş ve elde edilen sonuçlara göre sistemi yöneten en etkin parametrenin uygulanan Al^{+3} konsantrasyonu olduğu, diğer taraftan karıştırma hızları, pH ve atıksu konsantrasyonunun sistem etkinliğini daha düşük ölçüde etkilediği belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Tünay O., 1996. Çevre Mühendisliğinde Kimyasal Süreçler İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Basımevi, İstanbul.
- [2] Kocaer, F. O., Alkan, U., 2002. Boyarmadde İçeren Tekstil Atıksularının Arıtım Alternatifleri, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 7, Sayı 1, Bursa.
- [3] Kırdar,E.,1995. Tekstil Atıksularında Renk Giderimi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 116 s.
- [4] Ölmez T., 1999, Tekstil Endüstrisinde Reaktif Boya Banyolarında Ozon ile Renk Giderimi, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 103s.
- [5] Yavuz, Y., 1998. Tekstil Atıksularında Boyarmaddelerin Elektroadsorbsiyonla Giderimi. Y. Lisans Tezi, 113 s., Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 113s.
- [6] Arıcı Y., 2000. Tekstil Endüstrisinde Reaktif Boyarmaddelerden Kaynaklanan Rengin Fenton Prosesi ile Giderilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [7] Kaptan, D., 2002. Tekstil Endüstrisi Atıksularında Toksikite Giderilmesi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi, İstanbul, 101 s.
- [8] Duran, M. Demirer, G.N., 1997. Su Arıtımında Temel İşlemler, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası Yayını, Ankara, 203 s.
- [9] Şirvancı, M., 1997. Kalite için Deney Tasarımı. Literatür Yayınları, 13-18, İstanbul.
- [10] Alsaran, A., 2002. Dubleks yüzey işlemi uygulanmış AISI 5140 çeliğinin yapısal, mekanik ve tribolojik özelliklerinin belirlenmesi. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, s44-49.
- [11] Çelik, C., 1996. Tasarımda Yönlendirilmiş Deney Teknikleri. Endüstri Mühendisliği. 7, (6), 14-20.
- [12] Küçük, Ö., Kocakerim, M.M., Yartaşı, A. and Çopur, M., 2002. Uleksitin (NH₄)₂SO₄ çözeltilerinde çözündürülmesinin optimizasyonu. Balıkesir Üniversitesi Bor Sempozyumu, Balıkesir, s 44.
- [13] Taguchi. G., 1987. System of Experimental Design. Quality Resources: New York, vol.1.
- [14] Temur, H., 2003. Sülfürlü ve Oksitli Bakır Cevherlerinden Bakır Üretimi.
- [15] Roy, R.K., 1990. A Primer on the Taguchi Method. Van Nostrand Reinhold Company, 247 s, New York, USA.
- [16] Phadke, M.S., 1989. Quality Engineering Using Robust Design. Prentice Hall: New Jersey, 61-292.

- [17] Liu, S., Wang, Q., Ma, H., Huang, P., Li, J., Kikuchi, T., 2010. Effect of micro-bubbles on coagulation flotation process of dyeing wastewater. *Separation and Purification Technology* 71 (2010) 337–346.
- [18] Tchobanoglous, G., Burton, B.L., Stensel, H.D., 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. Metcalf & Eddy, Inc., The McGraw-Hill Companies, Inc., New York.
- [19] B. Merzouk, B. Gourich, K. Madani, Ch. Vial, A. Sekki, Removal of a disperse red dye from synthetic wastewater by chemical coagulation and continuous electrocoagulation. A comparative study, *Desalination* 272 (2011) 246–253.
- [20] A. Szygula, E. Guibal, M. Ruiz, A. M. Sastre, The removal of sulphonated azo-dyes by coagulation with chitosan, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* 330 (2008) 219–226.
- [21] A. K. Verma, R. R. Dash, P. Bhunia, A review on chemical coagulation/ flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters, *Journal of Environmental Management* 93 (2012) 154-168.
- [22] A. Birgül, S. K. Akal Solmaz, Tekstil Endüstrisi Atıksuları Üzerinde İleri Oksidasyon ve Kimyasal Arıtma Prosesleri Kullanılarak KOİ ve Renk Gideriminin Araştırılması, *Ekoloji*, 15, 62, 72-80, 2007.
- [23] F. El-Gohary, A. Tawfik, Decolorization and COD reduction of disperse and reactive dyes wastewater using chemical-coagulation followed by sequential batch reactor (SBR) process, *Desalination* 249 (2009) 1159 –1164.
- [24] O.T. Can, M. Kobya, E. Demirbas, M. Bayramoglu, Treatment of the textile wastewater by combined electro-coagulation, *Chemosphere* 62 (2006) 181– 187.