

Süt Endüstrisi Atıksularının Kimyasal Arıtımının Yanıt Yüzey Yöntemi ile Optimizasyonu

Elif ÖZMETİN^{1*}

ÖZET: Bu çalışmada, yüksek kirletici yükleri ile karakterize edilen süt endüstrisi atıksularının kimyasal arıtımı amaçlanmıştır. Arıtımda koagülant olarak demir III klorür ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ve alüminyum sülfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) kullanılmış, her iki koagülant için optimizasyon metodu olarak yanıt yüzey yönteminin (YYY) merkezi kompozit tasarımı (MKT) uygulanarak atıksudan kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve askıda katı madde (AKM) giderimleri incelenmiştir. Yöntem yardımıyla KOİ ve AKM giderim verimlerinin hesaplanabileceği denklemler elde edilmiş, arıtma prosesini etkileyen en önemli parametreler ortaya konularak giderimleri maksimum yapan şartlar belirlenmiştir. Demir III klorür ile yapılan çalışmalarda KOİ ve AKM giderim verimlerini maksimum yapan şartlar; pH: 7.41, doz: 158.579 mg L⁻¹ elde edilmiş ve bu şartlarda KOİ ve AKM giderim verimleri sırasıyla %80.84 ve %98.10 olmuştur. Alüminyum sülfat (alüm) ile yapılan çalışmalarda KOİ ve AKM giderim verimlerini maksimum yapan şartlar; pH: 7.29, doz: 197.475 mg L⁻¹ elde edilmiş ve bu şartlarda KOİ ve AKM giderim verimleri ise sırasıyla %73.33 ve %96.21 olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Süt endüstrisi atıksuları, yanıt yüzey yöntemi, koagülasyon

Optimization of Chemical Treatment of Dairy Industry Wastewater by Response Surface Methodology

ABSTRACT: In this study, the chemical treatment of dairy industry wastewater characterized by high pollutant load is aimed. In the treatment, iron III chloride ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) and aluminum sulphate ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) were used as coagulants. Chemical oxygen demand (COD) and suspended solids (SS) removal were analyzed by applying the central composite design (CCD) optimization method of response surface methodology (RSM) for both coagulants. Empirical equations giving the COD and SS removal efficiency were derived by RSM. The most important parameters affecting the treatment process and the conditions maximizing the COD and SS removal were determined by the equations. As a result, the conditions that maximize the COD and SS removal efficiency of iron III chloride were obtained as pH: 7.41, dose: 158.579 mg L⁻¹ and COD and SS removal efficiency of iron III chloride at these conditions were 80.84% and 98.10%, respectively. Also, the conditions maximizing the COD and SS removal efficiency of aluminum sulphate (alum) were obtained as pH: 7.29, dose: 197.475 mg L⁻¹ and COD and SS removal efficiency of alum at these conditions were obtained as 73.33% and 96.21%, respectively.

Keywords: Dairy industry wastewater, response surface methodology, coagulation

¹ Elif ÖZMETİN (Orcid ID: 0000-0002-3318-4083), Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Balıkesir, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Elif ÖZMETİN, e-mail: eozmetin@balikesir.edu.tr

GİRİŞ

Gıda işleme endüstrileri, yüksek KOİ ve biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) ile karakterize edilen atıksular üretmeleri nedeniyle ciddi çevresel sorunlara neden olmaktadır (Kushwaha ve ark., 2010). Genellikle birçok ülkede gıda işleme endüstrisi atık sularının en büyük kaynağının süt endüstrisi atıksuları olduğu düşünülür (Hung ve ark., 2005). Son yüzyılda sanayileşmenin hızla artması nedeniyle özellikle Avrupa'da endüstriyel gıda atıksu kaynakları içerisinde en büyük yeri yıllık yaklaşık % 2.8 ile süt işleme endüstrisi almıştır (Slavov, 2017).

OECD 2014-2023 Gıda Raporu'na göre 2018 yılındaki dünya süt üretiminin önceki yıllara benzer oranda artış göstereceği öngörülmüştür. 2018 yılında dünya süt üretiminin %1.8 artarak 849 milyon ton, inek sütü üretiminin ise %0.82 artarak 695 milyon ton olacağı tahmin edilmiştir (TEPGE, 2017). Benzer olarak Türkiye'de ise toplanan inek sütü miktarı 2018 Ocak ayı itibariyle, bir önceki yılın aynı ayına göre %13.4 artış göstermiştir (TÜİK, 2018). Bu öngörüler doğrultusunda süt endüstrisinden oluşacak atıksuların her geçen gün artacağı söylenebilir.

Gıda endüstrileri içerisinde süt endüstrisinde oluşan atıksular, üretilen özellikteki sütlerin hacmine göre en fazla kirleticiyi içermekte olup, miktarı işlenmiş sütün litresi başına yaklaşık 0.2-10 L'dir (Kushwaha ve ark., 2010). Süt endüstrisi atıksuları genellikle EPA'nın Toksik Madde Envanter'i altında listelenen klasik toksik kimyasalları içermezler. Bununla birlikte bu atıksular, yüksek konsantrasyonda peyniraltı suyu proteinleri, laktoz, yağ ve mineraller gibi çözülmüş organik bileşenler içermesi ve bu kirleticilerden bazılarının ortamda parçalanması nedeniyle kötü kokuludur ve çevredeki insanlara rahatsızlık verirler (Sarkar ve ark., 2006). Süt endüstrisi atıksularının deşarjı çevresel sorunlara neden olduğu gibi, atık akımının süt katı ürünlerini de içermesi bu tesisler için değerli bir ürün kaybına neden olmaktadır. Süt endüstrisinde üretilen

atıksu hacminin büyük bir kısmı, üretim çevrimleri, tank kamyonlarının temizlenmesi, süt silolarının yıkanması ve ekipman arızaları veya işletme içinde bulunan taşıma hatlarının ve ekipmanların temizlenmesinden kaynaklanmaktadır. Süt endüstrisinde süt, tereyağı, yoğurt, dondurma, çeşitli tatlılar ve peynir gibi farklı ürünler üretildiği için bu atıkların özellikleri, sistem türüne ve kullanılan işleme yöntemlerine bağlı olarak büyük ölçüde değişir. Ayrıca süt endüstrisinde asidik ve alkali temizleyiciler ile sabunlaştırıcıların kullanılması, atık su özelliklerini etkiler ve bazen oldukça değişken pH'lara sebep olur (Demirel ve ark., 2005).

İşletme kapasitesi, üretim yöntemi ve kullanılan temizlik kimyasallarına bağlı olarak farklı hacim, akış hızı, pH ve askıda katı madde içeriğine sahip olan süt endüstrisi atıksularının özelliklerindeki değişkenlik etkin bir atıksu arıtma yöntemi seçimini zorlaştırmaktadır. Bununla birlikte, seçilen giderim yönteminin, arzulanan talepleri karşılaması ve uzun süreli endüstriyel atık su deşarjıyla ilgili maliyetleri azaltması gerektiği unutulmamalıdır (Hung ve ark., 2005).

Süt endüstrisi atıksuları AKM, BOİ, KOİ, azot, asılı yağ ve/veya gres içeriklerinin yüksek olması ve aynı zamanda değişken pH'ya sahip olmalarından dolayı özel olarak arıtılması gereken sulardır (Hung ve ark., 2005; Sarkar ve ark., 2006; Şengil ve Özacar, 2006; Kushwaha ve ark., 2013; Slavov, 2017). Süt endüstrisi atıksularının arıtılmasında birçok arıtma yöntemi kullanılmaktadır ve yaygın olarak anaerobik yöntemlerle arıtılmaktadır. Bununla birlikte, klasik aerobik arıtım işlemleri de uygulanmaktadır (Rezaee ve ark., 2015). Diğer yandan koagülasyon/flokülasyon (Şengil ve Özacar, 2006; Mateus ve ark., 2017), nanofiltrasyon (NF) ve ters osmoz (RO) membranlar (Şengil ve Özacar, 2006; Suárez ve ark., 2015), membran biyoreaktörler (MBR) (Şengil ve Özacar, 2006; Lorestani ve ark., 2012) gibi yöntemlerle de arıtımı yapılabilmektedir.

Atıksu arıtma yöntemleri, enerji tüketimi, kimyasal sarf malzemelerinin kullanılması, ilgili proseslerin atmosfere, suya ve toprağa olan emisyonlarına bağlı olarak çeşitli çevresel etkilere neden olur (Georgiopoulou ve ark., 2008). Çoğu büyük süt fabrikasında arıtma tesisleri mevcuttur. Bazı tesisler ise atık sularını kanalizasyona vermekte, bunun dışında bu atıksuların denize deşarjı veya sulama yoluyla imha edilmesi de söz konusudur (Hung ve ark., 2005).

Arıtma metotları arasında koagülasyon/flokülasyon işlemi, endüstriyel atık sularında bulunan askıda ve çözünmüş katıların, kolloidlerin ve organik maddelerin giderilmesinde en çok kullanılan işlem olarak vurgulanmaktadır (Mateus ve ark., 2017). Koagülasyon/flokülasyon işlemi, kentsel, endüstriyel ve karma atıksuların arıtımında uygun maliyetli bir alternatif olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Kolay kullanımı ve göreceli olarak basit tasarımı sayesinde, daha çok kontamine suların ön arıtılmasında veya birincil arıtılmasında tercih edilmektedir (Torres ve ark., 2009). Koagülasyon/flokülasyon işlemi, endüstriyel atıksu arıtımında atıksuda bulanıklığa sebep olan AKM, BOİ ve KOİ'ye katkıda bulunan organik maddeleri azaltmak için kullanılan en önemli fizikokimyasal işlem kademelerinden biridir. Koagülantların eklenmesi, atıksuyun içinde bulunan partikül maddelerin destabilizasyonu, ardından partikül çarpışması ve flok oluşumuna müteakip çökme veya yüzdürme ile sonuçlanan bir süreçtir (Sarkar ve ark., 2006). Kimyasal arıtımda alüm, demir sülfat, demir klorür ve demir kloro-sülfat yaygın olarak kullanılan koagülantlardır (Jiang ve Lloyd, 2002; Samadi ve ark., 2010). Bu koagülantlar, etkinlikleri, ucuz olmaları ve kullanımlarının kolay olması gibi sebeplerden dolayı yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. (Ahmad ve ark., 2006).

Yanıt Yüzey Yöntemi (YYY), endüstride süreç tasarım parametrelerinin optimizasyonu için yaygın olarak kullanılan ve çoklu parametrelerin etkisini ortaya koymaya yarayan

pratik bir yöntemdir (Hamid ve ark., 2016). YYY, deneyler tasarlamak, modeller oluşturmak, çeşitli faktörlerin etkilerini değerlendirmek ve belirlenen cevapları almak için gerekli en uygun koşulları aramak amacıyla kullanılan matematiksel ve istatistiksel tekniklerden oluşan bir optimizasyon metodudur (Behbahani ve ark., 2011; Gengec ve ark., 2012). Birçok araştırmada, farklı kirleticilerin koagülasyon ve elektrokoagülasyon yoluyla giderilmesi için bu yöntem uygulanmıştır (Behbahani ve ark., 2011). YYY bağımsız değişkenlerin kontrollü değerlerine bağlı olarak bağımlı değişkenin değerini tahmin etmek için kullanılan bir regresyon analizidir. Yöntem kısa bir süre içerisinde çok sayıda deney kombinasyonu oluşturarak, araştırmacıların test edilen parametrelerin araştırma çalışması üzerinde önemli bir etkisi olup olmadığını görmesini sağlamaktadır (Asaithambi ve ark., 2018). MKT, proses cevabı ve operasyonel faktörler arasında ampirik modeller elde etmek için istatistiksel değerlendirmede yaygın olarak kullanılmaktadır (Moradi ve ark., 2018).

Bu çalışmada, süt endüstrisi atıksularının kimyasal arıtımı demir III klorür ve alüm kullanılarak gerçekleştirilmiş, prosesi optimize eden değerler YYY'nin MKT'ı ile belirlenmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Çalışmada kullanılan atıksu, Balıkesir ilinde bulunan bir süt işleme tesisinden alınmıştır. Tesis mevcut durumda atıksularını kentsel atıksu kanalizasyonuna deşarj etmektedir. Deneysel çalışmalar boyunca tesisten farklı zamanlarda iki defa 2 saatlik kompozit numune alınmış ve buzdolabında korunmuştur. Çalışma başlatılmadan bir saat önce buzdolabından çıkartılarak oda sıcaklığında bekletilmiştir. Tesisten alınan atıksuyun karakterizasyonu Çizelge 1'de verilmektedir.

Koagülasyon işlemlerinde koagülant olarak demir III klorür ve alüm, pH ayarlamalarını yapmak için NaOH ve H₂SO₄ kullanılmıştır.

Çizelge 1. Atıksuyun Karakterizasyonu

Parametre	Değer
pH	5.06
Çözülmüş Oksijen	3.19 mg L ⁻¹
KOİ	1400-2200 mg L ⁻¹
BOİ ₅	540 mg L ⁻¹
AKM	450-556 mg L ⁻¹
Yağ Gres	<1 mg L ⁻¹
Fosfor	0.886 mg L ⁻¹
Klorür	65.48 mg L ⁻¹

Yöntem

DeneySEL çalışmalar iki aşamada yürütülmüştür. Öncelikle literatürde yapılmış çalışmalardan elde edilen pH aralıklarında pH ve doz için ön denemeler yapılmış daha sonra ön denemelerden bulunan sonuçlar kullanılarak deney tasarımına ait bağımsız değişkenlerin seviyeleri belirlenmiştir. YYY kullanılarak her iki koagülant için ayrı ayrı tasarımlar yapılmış ve tasarımda belirlenen şartlarda deneyler gerçekleştirilmiştir.

Kimyasal arıtım işlemleri, 0-200 devir/dk karıştırma hızı aralığında olan ve hızın her pedal için ayrı ayrı ayarlanabildiği Velp Scientifica marka Jar test düzeneğinde yapılmıştır. Her bir test 600 mL'lik beherlerde 500 mL atıksu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler, tasarımlarda belirlenen şartlar altında önce 120 rpm de 5 dakika hızlı karıştırma, sonrasında 30 rpm de 15 dakika yavaş karıştırma yapılarak gerçekleştirilmiştir. Tüm deneylerde flokülant olarak yavaş karıştırma sırasında 1 mL anyonik polielektrolit eklenmiştir. Karıştırma süresi sonunda numuneler 30 dk çökmeye bırakılmış, çökme sonunda berrak kısımdan numune

alınarak KOİ ve AKM analizleri yapılmıştır. KOİ analizleri Standart Metodlar SM 5220D kodlu kolorimetrik yöntem, AKM analizleri Standart Metodlar SM 2540 metodu ile, pH ölçümleri ise WTW 340i multiparametre yardımı ile yapılmıştır. KOİ ve AKM giderim verimlerini hesaplamak için Eşitlik 1. kullanılmıştır.

$$\%Giderim\ Verimi = \frac{C_0 - C_s}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

Burada, C₀ başlangıç konsantrasyonu (mg L⁻¹), C_s deney sonunda ortamda kalan konsantrasyon (mg L⁻¹) olarak belirtilmektedir.

Deney Tasarımı

Deney tasarımında, KOİ ve AKM giderimlerinin optimizasyonu amacıyla YYY'nin MKT'ı kullanılmıştır. Çalışmada, bağımsız değişken olarak pH (X₁), koagülant dozu (X₂) ve bağımlı değişken olarak KOİ giderim verimi (Y₁), AKM giderim verimi (Y₂) seçilmiştir. Her bir koagülant için 2 faktör, 5 seviye ve 5 merkez deneyi olmak üzere deney tasarımları yapılmıştır. Demir III klorür ile yapılan çalışmalarda α=1.41421, alüm ile yapılan çalışmalarda ise α=2 seçilmiştir. Tasarım seviyeleri ve değerleri Çizelge 2'de verilmektedir.

Çizelge 2. Tasarım Seviyeleri ve Değerleri

Değişkenler	Seviyeler ve Değerleri				
	-α	-1	0	1	+α
FeCl₃.6H₂O					
pH (X ₁)	4.59	5	6	7	7.41
Koagülant Dozajı (mg L ⁻¹) (X ₂)	158.579	200	300	400	441.421
Al₂(SO₄)₃.18H₂O					
pH (X ₁)	4.5	6	7.5	9	10.5
Koagülant Dozajı (mg L ⁻¹) (X ₂)	50	100	150	200	250

BULGULAR VE TARTIŞMA

DeneySEL çalışmalar, MKT'nın belirlemiş olduğu deney tasarım matrisinde verilen şartlarda yapılmış olup, her iki koagülant için elde edilen %KOİ ve %AKM giderim verimleri Çizelge 3'de gösterilmiştir.

Deney sonuçlarından elde edilen R^2 değerleri, modelin verdiği R^2_{adj} değerleri ve modelden belirlenen % giderim denklemleri Çizelge 4'de verilmektedir. DeneySEL R^2 değerlerinin 1'e yakın olması deney sonuçlarının

model ile uyumlu ve güvenilir olduğunu göstermektedir.

Demir III klorür kullanılarak yapılan çalışmalara ait %KOİ ve %AKM giderimleri için elde edilen varyans analiz sonuçları Çizelge 5'de ve Çizelge 6'da verilmiştir. Anova analizine göre $P < 0.05$ olan faktörler yüzde giderim verimi üzerinde etkili ve anlamlı parametrelerdir. Bu sonuçlardan tüm parametrelerin KOİ gideriminde etkili olduğu, pH dışındaki parametrelerin ise AKM gideriminde etkili olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 3. DeneySEL Sonuçlar

Deney No	FeCl ₃ .6H ₂ O				Al ₂ (SO ₄) ₃ .18H ₂ O			
	Değişkenler		Yanıtlar		Değişkenler		Yanıtlar	
	pH X ₁	Doz (mg L ⁻¹) X ₂	%KOİ giderimi Y ₁	%AKM giderimi Y ₂	pH X ₁	Doz (mg L ⁻¹) X ₂	%KOİ giderimi Y ₁	%AKM giderimi Y ₂
1	5	200	68.94	94.83	6	100	70.73	95.06
	7	200	79.55	99.78	9	100	49.16	72.63
3	5	400	74.10	92.94	6	200	68.91	96.30
4	7	400	70.60	67.78	9	200	74.61	98.77
5	4.59	300	70.98	96.55	4.5	150	79.20	88.74
6	7.41	300	77.94	99.24	10.5	150	36.47	87.06
7	6	158.58	77.10	87.93	7.5	50	44.46	77.16
8	6	441.42	70.94	75.43	7.5	250	76.25	96.30
9	6	300	71.28	70.26	7.5	150	74.59	94.75
10	6	300	70.42	71.12	7.5	150	72.93	96.91
11	6	300	69.32	74.57	7.5	150	73.11	98.46
12	6	300	70.88	69.40	7.5	150	72.72	96.91
13	6	300	71.32	71.12	7.5	150	72.78	97.23

Çizelge 4. Model ve DeneySEL Çalışmalara ait R^2 Değerleri ve Giderim Denklemleri

Koagülant Türü	%Giderim	R^2	R^2_{adj}	Model Denklemi
FeCl ₃ .6H ₂ O	%KOİ	0.9412	0.8993	%KOİ = 72.4 - 7.37 X ₁ + 0.1089 X ₂ + 1.672 X ₁ X ₂ + 0.000145 X ₂ X ₂ - 0.03527 X ₁ X ₂
	%AKM	0.9380	0.8937	%AKM = 483.2 - 136.1 X ₁ + 0.081 X ₂ + 13.02 X ₁ X ₂ + 0.000491 X ₂ X ₂ - 0.0735 X ₁ X ₂
Al ₂ (SO ₄) ₃ .18H ₂ O	%KOİ	0.9408	0.8985	%KOİ = 70.5 + 6.42 X ₁ - 0.150 X ₂ - 1.712 X ₁ X ₂ - 0.001289 X ₂ X ₂ + 0.0909 X ₁ X ₂
	%AKM	0.9062	0.8391	%AKM = 103.6 + 1.33 X ₁ - 0.207 X ₂ - 1.005 X ₁ X ₂ - 0.001022 X ₂ X ₂ + 0.0830 X ₁ X ₂

Çizelge 5. FeCl₃.6H₂O ile KOİ Giderimi Anova Sonuçları

	Serbestlik derecesi	Kareler Toplamı	Ortalama kare	F değeri	P değeri
Model	5	135.471	27.0942	22.42	0.000
X ₁	1	35.925	35.9252	29.73	0.001
X ₂	1	19.536	19.5361	16.17	0.005
X ₁ ²	1	19.456	19.4563	16.10	0.005
X ₂ ²	1	14.674	14.6740	12.14	0.010
X ₁ X ₂	1	49.773	49.7730	41.19	0.000

Alüm kullanılarak yapılan çalışmalara ait %KOİ ve %AKM giderim verimleri için elde edilen varyans analiz sonuçları Çizelge 7’de ve Çizelge 8’de verilmiştir. Kullanılan diğer

koagülanta benzer olarak, tüm parametrelerin KOİ giderim verimi üzerinde etkili olduğu, pH dışındaki parametrelerin ise AKM giderim verimi üzerinde daha etkili olduğu görülmüştür.

Çizelge 6. FeCl₃.6H₂O ile AKM Giderimi Anova Sonuçları

	Serbestlik derecesi	Kareler Toplamı	Ortalama kare	F değeri	P değeri
Model	5	1840.5	368.1	21.17	0.000
X ₁	1	30.83	30.83	1.77	0.225
X ₂	1	341.49	341.49	19.64	0.003
X ₁ ²	1	1178.91	1178.91	67.81	0.000
X ₂ ²	1	167.74	167.74	9.65	0.017
X ₁ X ₂	1	216.24	216.24	12.44	0.010

Çizelge 7. Al₂(SO₄)₃.18H₂O ile KOİ Giderimi Anova Sonuçları

	Serbestlik derecesi	Kareler Toplamı	Ortalama kare	F değeri	P değeri
Model	5	2128.5	425.7	22.23	0.000
X ₁	1	855.65	855.647	44.69	0.000
X ₂	1	633.8	633.799	33.10	0.001
X ₁ X ₁	1	340.18	340.177	17.77	0.004
X ₂ X ₂	1	238.03	238.029	12.43	0.010
X ₁ X ₂	1	185.91	185.913	9.71	0.017

Çizelge 8. Al₂(SO₄)₃.18H₂O ile AKM Giderimi Anova Sonuçları

	Serbestlik derecesi	Kareler Toplamı	Ortalama kare	F değeri	P değeri
Model	5	767.968	153.59	13.52	0.002
X ₁	1	45.319	45.319	3.99	0.086
X ₂	1	359.270	359.270	31.63	0.001
X ₁ X ₁	1	117.243	117.243	10.32	0.015
X ₂ X ₂	1	149.525	149.525	13.16	0.008
X ₁ X ₂	1	155.003	155.003	13.64	0.008

Model yardımıyla KOİ ve AKM giderim verimlerinin her ikisini birden maksimum yapan şartlar elde edilmiştir. Modelden elde edilen optimum şartlar, optimum şartlar için modelin

öngördüğü giderim verimleri ve optimum şartlarda gerçekleştirilen üç tekrarlı doğrulama deney sonuç ortalamaları Çizelge 9’da verilmiştir.

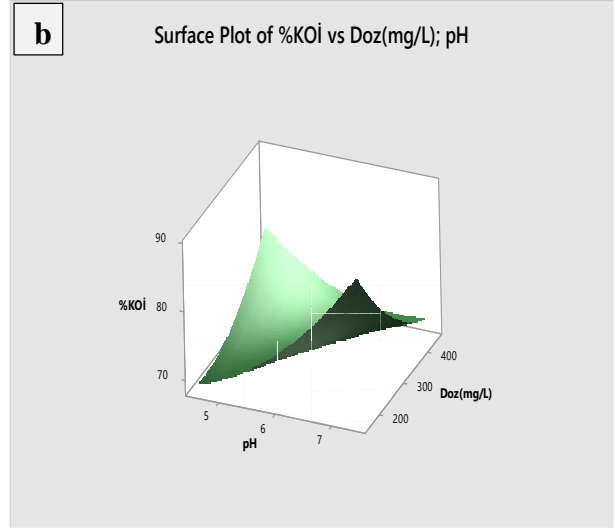
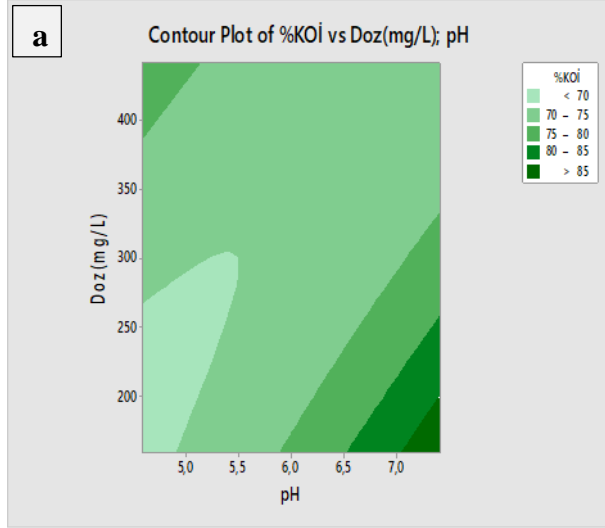
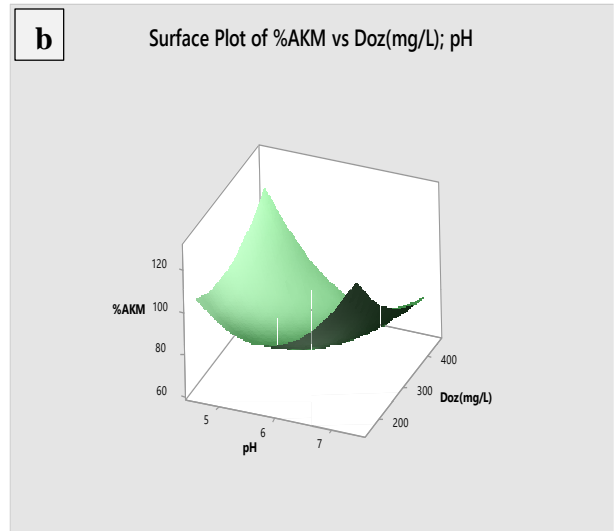
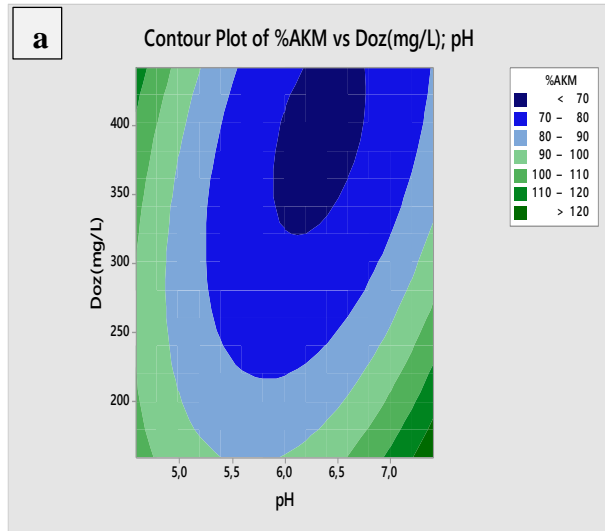
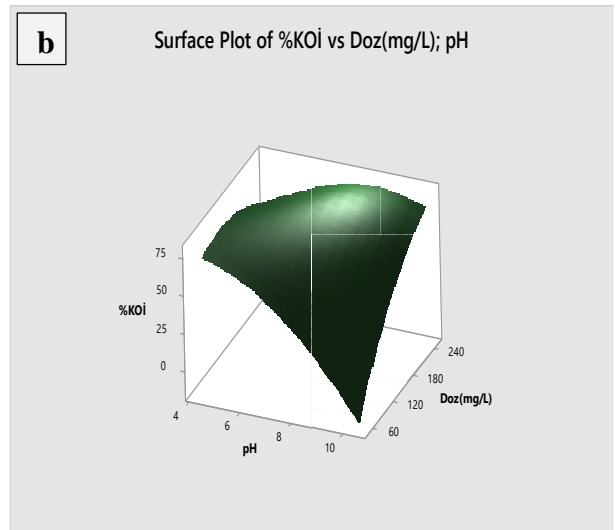
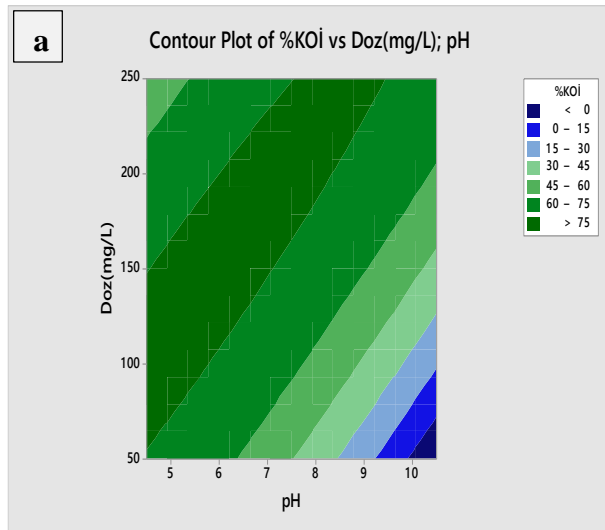
Çizelge 9. Optimum Şartlar

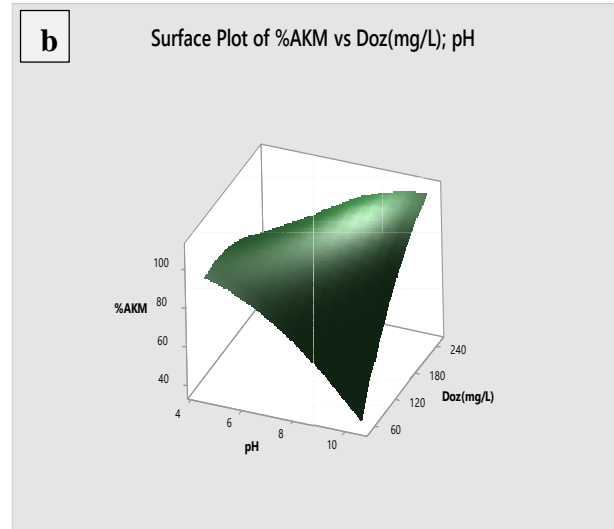
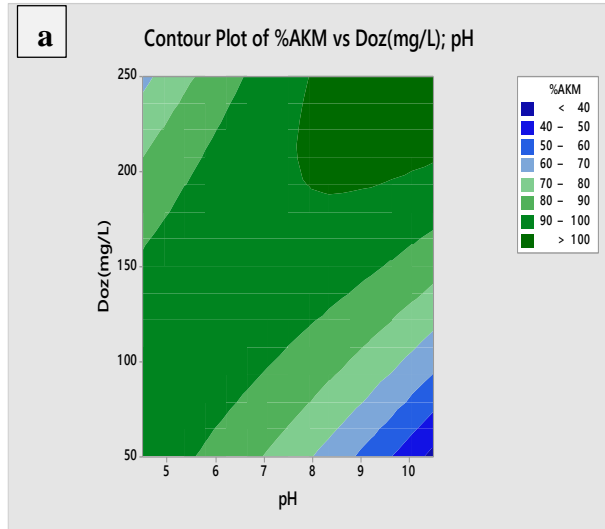
Koagülant Türü	Doz (mg L ⁻¹)	pH	Model %KOİ	DeneySEL %KOİ	Model %AKM	DeneySEL %AKM
FeCl ₃ .6H ₂ O	158.579	7.41	89.16	80.84	100	98.10
Al ₂ (SO ₄) ₃ .18H ₂ O	197.475	7.29	77.33	73.33	98.77	96.21

Gıda endüstrisi atıksularının arıtımına ait yapılan bir çalışmada 0.1-0.15 mg FeCl₃.6H₂O/mg KOİ ve 0.2 mg Al₂(SO₄)₃.18H₂O/mg KOİ elde edilmiştir (Rusten ve ark., 1990). Süt endüstrisi atıksularına ait çalışmalarda; pH 6.5-8 aralığında 500 mg L⁻¹ dozajında demir III klorür ve alüm kullanılarak en iyi AKM giderimi sağlanmış (Sarkar ve ark., 2006), 200 mg L⁻¹ demir III klorür ve alüm dozajlarında ise sırasıyla maksimum %72 ve %54 KOİ giderimi elde edilmiştir (Ekdal, 2000).

Demir III klorür kullanılarak yapılan çalışmalarda parametrelerin birbirleri ile etkileşimini ve etkileşim esnasındaki giderim verimlerini gösteren grafikler KOİ için Şekil 1’de, AKM için ise Şekil 2’de verilmektedir.

Alüm ile yapılan çalışmalarda parametrelerin birbirleri ile etkileşimini ve etkileşim esnasındaki giderim verimlerini gösteren grafikler KOİ için Şekil 3’de, AKM için ise Şekil 4’de gösterilmektedir.

Şekil 1. FeCl₃.6H₂O ile KOİ gideriminde doz-pH ilişkisi a)contour plot grafiği b)surface plot grafiğiŞekil 2. FeCl₃.6H₂O ile AKM gideriminde doz-pH ilişkisi a)contour plot grafiği b)surface plot grafiğiŞekil 3. Al₂(SO₄)₃.18H₂O ile KOİ gideriminde doz-pH ilişkisi a)contour plot grafiği b)surface plot grafiği



Şekil 4. $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ile AKM gideriminde doz-pH ilişkisi a)contour plot grafiği b)surface plot grafiği

SONUÇ

Her iki koagülant kullanılarak yapılan çalışmalarda KOİ giderimi için %73'ün üzerinde, AKM giderimi için ise %96'nın üzerinde giderim verimleri elde edilmiştir. Demir III klorür kullanılarak yapılan arıtımda alüm'e göre daha yüksek KOİ ve AKM giderimi elde edilmiştir. Bu nedenle süt endüstrisi atıksularının kimyasal arıtımında Demir III klorür kullanımının daha uygun olacağı belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Ahmad AL, Sumathi S, Hameed BH, 2006. Coagulation of Residue Oil and Suspended Solid in Palm Oil Mill Effluent by Chitosan, Alum and PAC. *Chemical Engineering Journal*, 118(1-2): 99-105.
- Asaithambi P, Beyene D, Aziz ARA, Alemayehu E, 2018. Removal of Pollutants with Determination of Power Consumption from Landfill Leachate Wastewater Using an Electrocoagulation Process: Optimization Using Response Surface Methodology (RSM). *Applied Water Science*, 8(2): 69.
- Behbahani M, Moghaddam MRA, Arami M, 2011. Techno-Economical Evaluation of Fluoride Removal by Electrocoagulation Process: Optimization Through Response Surface Methodology. *Desalination*, 271(1-3): 209-218.

- Demirel B, Yenigun O, Onay TT, 2005. Anaerobic Treatment of Dairy Wastewaters: A Review. *Process Biochemistry*, 40(8): 2583-2595.
- Ekdal A, 2000. Süt ve Süt Ürünleri Endüstrisi Atıksularının Kimyasal Arıtılabilirliği, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü., Yüksek Lisans Tezi (Basılmış)
- Gengec E, Kobya M, Demirbas E, Akyol A, Oktor K, 2012. Optimization of Baker's Yeast Wastewater Using Response Surface Methodology by Electrocoagulation. *Desalination*, 286: 200-209.
- Georgiopoulou M, Abeliotis K, Kornaros M, Lyberatos G, 2008. Selection of the Best Available Technology for Industrial Wastewater Treatment Based on Environmental Evaluation of Alternative Treatment Technologies: The Case of Milk Industry. *Fresenius Environmental Bulletin*, 17(1): 111-121.
- Hamid HA, Jenidi Y, Thielemans W, Somerfield C, Gomes RL, 2016. Predicting the Capability of Carboxylated Cellulose Nanowhiskers for the Remediation of Copper from Water Using Response Surface Methodology (RSM) and Artificial Neural Network (ANN) Models. *Industrial Crops and Products*, 93: 108-120.
- Hung YT, Britz T, Schalkwyk C, 2005. Treatment of Dairy Processing Wastewaters. *Waste Treatment in the Food Processing Industry*, (c): 1-28.

- Jiang JQ, Lloyd B, 2002. Progress in the Development and Use of Ferrate(VI) Salt as an Oxidant and Coagulant for Water and Wastewater Treatment. *Water Research*, 36(6):1397–1408.
- Kushwaha JP, Chandra Srivastava V, Mall ID, 2010. Treatment of Dairy Wastewater by İnorganic Coagulants: Parametric and Disposal Studies. *Water Research*, 44(20): 5867–5874.
- Kushwaha JP, Srivastava VC, Mall ID, 2013. Sequential Batch Reactor for Dairy Wastewater Treatment: Parametric Optimization; Kinetics and Waste Sludge Disposal. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 1(4):1036–1043.
- Lorestani AAZ, Bashiri H, Asadi A, Bonakdari H, 2012. Comparison of Different Fluid Dynamics in Activated Sludge System for the Treatment of a Stimulated Milk Processing Wastewater: Process Analysis and Optimization, *Korean Journal of Chemical Engineering*, 29(10): 1352–1361.
- Mateus GAP, Formentini-Schmitt DM, Nishi L, Fagundes-Klen MR, Gomes RG, Bergamasco R, 2017. Coagulation/Flocculation with *Moringa Oleifera* and Membrane Filtration for Dairy Wastewater. *Water, Air, & Soil Pollution*, 228(9):342
- Moradi N, Salem S, Salem A, 2018. Optimizing Adsorption of Blue Pigment From Wastewater by Nano-Porous Modified Na-Bentonite Using Spectrophotometry Based on Response Surface Method, *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 193: 54–62.
- Rezaee S, Zinatizadeh AAL, Asadi A, 2015. High Rate CNP Removal from a Milk Processing Wastewater in a Single Ultrasound Augmented Up-Flow Anaerobic/Aerobic/Anoxic Bioreactor. *Ultrasonics Sonochemistry*, 23(289–301).
- Rusten B, Eikebrokk, B, Thorvaldsen, G, 1990. Coagulation as Pretreatment of Food Industry Wastewater. *Water Science & Technology*, 22 (9): 1-8.
- Samadi M, Saghi M, Rahmani A, Hasanvand J, Rahimi S, Syboney MS, 2010. Hamadan Landfill Leachate Treatment By Coagulation-Flocculation Process. *Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng.*, 7(3):253–258.
- Sarkar B, Chakrabarti PP, Vijaykumar A, Kale V, 2006. Wastewater Treatment in Dairy Industries--Possibility of Reuse. *Desalination*, 195(1–3):141–152.
- Şengil IA, Özacar M, 2006. Treatment of Dairy Wastewaters by Electrocoagulation Using Mild Steel Electrodes. *Journal of Hazardous Materials*, 137(2):1197–1205.
- Slavov AK, 2017. General Characteristics and Treatment Possibilities of Dairy Wastewater -a Review. *Food Technology and Biotechnology*, 55(1):14–28.
- Suárez A, Fernández P., Iglesias JR, Iglesias E, Riera FA, 2015. Cost Assessment of Membrane Processes: A Practical Example in the Dairy Wastewater Reclamation by Reverse Osmosis. *Journal of Membrane Science*, 493:389–402.
- TEPGE (Tarımsal Ekonomi Ve Politika Geliştirme Enstitüsü), 2017. Durum ve Tahmin Süt ve Süt Ürünleri 2017. http://www.kayseritb.org/images/piyasa_analiz_leri/sut.pdf (Erişim tarihi: 12.01.2019)
- Torres LG, Belloc C, Vaca M, Iturbe R, Bandala ER, 2009. Coagulation-Flocculation Process Applied to Wastewaters Generated in Hydrocarbon-Contaminated Soil Washing: Interactions Among Coagulant and Flocculant Concentrations and pH Value. *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 44(13):1449–1456.
- TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu), 2018. Süt ve Süt Ürünleri Üretimi, Ocak 2018. <http://www.tuik.gov.tr/HbPrint.do?id=27674> (Erişim tarihi: 13.01.2019)