

Yonga levha endüstrisi atık sularının kimyasal ön arıtımı ve yanıt yüzey yöntemi ile optimizasyonu

Yeliz SÜZEN*, Ahmet GÜNAY

Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Çağış Kampüsü, Balıkesir.

Geliş Tarihi (Received Date): 17.07.2023

Kabul Tarihi (Accepted Date): 04.09.2023

Öz

Bu çalışmada yonga levha atık suyunun koagülasyon/flokülasyon yöntemiyle kimyasal ön arıtılabilirliği incelenmiştir. Çalışmada kullanılan parametreler ve seviyeleri Yanıt Yüzey Yöntemi (YYY) kullanılarak tasarlanmış ve sonuçlar optimize edilerek model denklemleri türetilmiştir. Çalışma kapsamında; koagülant olarak Flo30, flokülant olarak ise anyonik patates nişastası (APN, %1) kullanılmıştır. Bağımsız değişkenler olarak; başlangıç pH'sı (5-8), Flo30 koagülant dozu (6-12 ml/L), APN dozu (10-30 ml/L); bağımlı değişkenler olarak kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ,%), askıda katı madde (AKM,%), renk giderim verimleri (%) seçilmiştir. Her bir bağımlı değişkenin giderimini maksimum yapan şartlar ayrı ayrı belirlenmiş ve bu şartlarda doğrulama deneyleri yapılmıştır. Maksimum giderim şartlarında KOİ, AKM ve renk giderim verimleri sırasıyla; %56,83, %96,46, %83,2 olarak bulunmuştur. Elde edilen modellerin R^2 değerleri ise sırası ile 0,9501, 0,9666 ve 0,9377 olmuştur. Yonga levha atık sularının ön arıtımında kimyasal arıtımın etkili bir metot olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Yonga levha atık suyu, koagülasyon, flokülasyon, optimizasyon.

Chemical pretreatment of particle board industry wastewater and optimization by response surface method

Abstract

In this study, the chemical pre-treatment of particle board waste water by coagulation/flocculation method was investigated. The parameters and levels used in the study were designed using the Response Surface Method (RSM), and the model equations were derived by optimizing the results. In the scope of the study; Flo30 was used as coagulant and anionic potato starch (APN, 1%) was used as flocculant. As independent variables; initial pH (5-8), Flo30 coagulant dose (6-12 ml/L), APN dose (10-30 ml/L);

*Yeliz SÜZEN, yelizsuzen@balikesir.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0003-4059-4643>

Ahmet GÜNAY, agunay@balikesir.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-9499-9932>

Chemical oxygen demand (COD,%), total suspended solids (TSS,%) and color removal efficiencies (%) were chosen as dependent variables. The conditions that maximize the removal of each dependent variable were determined separately and validation experiments were carried out under these conditions. Under maximum removal conditions, the COD, TSS and color removal efficiencies were found 56.83%, 96.46%, 83.2%, respectively. The R^2 values of the models obtained were 0.9501, 0.9666 and 0.9377. It has been determined that chemical treatment is an effective method in the pre-treatment of particleboard wastewater.

Keywords: Particleboard wastewater, coagulation, flocculation, optimization.

1. Giriş

Yonga levha; otsu materyal ya da odun yongalarının basınç ve ısı altında sentetik tutkalla sıkıştırılması sonucu oluşturulan kompozit bir malzemedir. Mobilya endüstrisi tarafından yoğun bir şekilde kullanılır [1]. Yonga levha üretiminde orman atıkları, yıllık bitkiler, tutkallar, suya ve böceklere dayanımı arttırmak için kullanılan katkı maddeleri kullanılmaktadır [2]. Yonga levha atık suları odun hammaddesinin kullanımından ötürü selülozik içerik olarak kağıt/kağıt hamuru üretimi atık suları ile benzerlik göstermektedir.

Uygun maliyetli, kullanım ve tasarımının kolay olması gibi avantajları nedeniyle koagülasyon/flokülasyon işlemi kentsel ve endüstriyel atık suların ön veya birincil arıtılmasında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [3]. Bu prosesin etkinliği; koagülant/flokülantın çeşidi ve dozu, pH, karıştırma süresi, karıştırma hızı, sıcaklık ve dinlendirme süresi gibi parametrelere bağlı olarak değişmektedir [4]. Demir klorür, demir sülfat, bakır sülfat, polialüminyum klorür vb. gibi inorganik metal tuzları atık suların arıtılmasında pıhtılaştırıcı olarak birçok araştırmada kullanılmıştır [5]. Selülöz içeren atık suların; kimyasal ön arıtım sonrası yapılan ozonlama, elektrooksidasyon ve membran arıtım gibi ileri arıtım prosesleriyle giderim verimlerini arttırdığı belirlenmiştir [6]. Literatürde farklı içerikteki atık suların kimyasal arıtımıyla ilgili çalışmalar yer almaktadır [7-10].

Yanıt Yüzey Yöntemi (YYY) süreçleri geliştirmek, iyileştirmek ve optimize etmek amacıyla yanıt ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkileri tek başına veya kombinasyon halinde tanımlamak için kullanılan istatistiksel ve matematiksel tekniklerin bir birleşimidir [11]. Bu deneysel yöntem, bağımsız değişkenlerin etkilerini analiz etmenin yanı sıra matematiksel bir model de üretir [12]. YYY prosesi ile sistemi etkileyen parametreler arasında etkileşim olup olmadığı, varsa hangi etkileşimin daha baskın olduğu ya da prosesin hangi bağımsız değişkene daha duyarlı olduğunu belirleyebilmektedir [13]. Yanıt değerinin değişimini veren ikinci dereceden polinom denklemi Denklem 1 de verilmiştir [4,14].

$$Y_m = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j} \sum_j b_{ij} X_i X_j + \varepsilon \quad (1)$$

Burada sırasıyla; Y_m modellenecek yanıt değişkenini; β_0 , β_i , β_{ii} ve β_{ij} model katsayılarını; X_i , X_j bağımsız değişkenlerin kodlanmış değerlerini; ε ise hata terimini göstermektedir.

Denklem 1’de görüldüğü üzere YYY’nin matematiksel modelinde sırasıyla lineer parametreler, karesel ilişkiler ve ikili etkileşimler yer almaktadır. Son yirmi yıldır YYY; deneylerin tasarım, optimizasyon ve modellenmesinde, çok değişkenli deneysel tasarım metotları arasında büyük ilgi görmektedir [15]. Birçok araştırmada; farklı kirleticilerin elektrooksidasyon [16], fenton [12], fotofenton [17], adsorpsiyon [18] gibi farklı proseslerle gideriminde optimizasyon metotları uygulanmıştır.

Endüstriyel tesislerde üretim sürecinde kullanılan suyun geri kazanımı doğal kaynak korunması açısından çok önemlidir. Çevreye verilecek zararların azaltılması, atık su kalitesinin iyileştirilmesine bağlıdır [19]. Bu nedenle yüksek hacimde yoğun kirletici içeren endüstriyel atık suların geri kazanımı/yeniden kullanım alternatiflerinin oluşturulması ekonomik ve çevresel açıdan son derece önemlidir.

Bu çalışmada Flo30/APN kullanarak yonga levha atık suyunun kimyasal arıtım yöntemi ile ön arıtımı araştırılmıştır. KOİ, AKM ve renk giderimi üzerine başlangıç pH’sı, koagülant ve flokülant dozu gibi parametrelerin etkisi incelenmiştir. Flo30 koagülantı seçimi ile literatürde sıklıkla yer alan standart koagülantların dışına çıkılarak yeni bir koagülant etkinliği incelenmiştir. Flokülant olarak kullanılan anyonik patates nişastası ise çevreci, kullanımı kolay ve ucuz bir hammadde [7] olması nedeniyle tercih edilmiştir. Deneysel tasarımda YYY içinde yer alan merkezi kompozit tasarım (MKT) kullanılmış, uzay dışı seviyeleri de seçilerek tasarım oluşturulmuştur. Tasarımda belirlenen deneylerin sonuçları ile model sonuçları karşılaştırılmış ve kontrol deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca maksimum giderim şartlarındaki model denklemleri elde edilmiş, oluşturulan ANOVA tabloları ile model üzerinde etkili olan parametreler ve etki seviyeleri incelenmiştir.

2. Deneysel çalışmalar

2.1. Materyal

Bu çalışmada kullanılan yonga levha atık suyu, Manisa İlinde bulunan bir ağaç işleme tesisinin dengeleme havuzundan alınmıştır. Tesisten alınan yonga levha atık suyu numunesinin kirlilik karakteristikleri belirlenmiş ve elde edilen değerler Tablo 1’de gösterilmiştir. Yonga levha atık su numuneleri laboratuvarında 4°C’de muhafaza edilmiştir. Yonga levha atık suyunun pH’sı 0,01 M H₂SO₄ ve 0,01 M NaOH çözeltileri kullanılarak deney tasarımında belirlenen başlangıç pH değerlerine ayarlanmıştır. Koagülant olarak Flo30 kimyasalı, flokülant olarak ise günlük taze hazırlanmış APN (%1’lik) kullanılmıştır.

Tablo 1. Atık su karakterizasyonu

| Parametre | Konsantrasyon |
|--|---------------|
| pH | 7,35 |
| Toplam Kimyasal Oksijen İhtiyacı (TKOİ) (mg/L) | 20650 |
| Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (ÇKOİ) (mg/L) | 12600 |
| Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ)(mg/L) | 4509 |
| Askıda Katı Madde (AKM) (mg/L) | 5800 |
| Renk (Pt-Co) | 8700 |
| Bulanıklık (NTU) | 3275 |

2.2. Yöntem

Ön deneme çalışmaları ve literatür araştırmaları neticesinde deney tasarımında yer alacak bağımsız değişkenler ve bunların seviyelerine karar verilmiştir. YYY kullanılarak deneysel tasarım yapılmış ve tasarımda belirlenen şartlarda deneyler gerçekleştirilmiştir.

Koagülasyon/flokülasyon deneyleri, klasik jar testi düzeneğiyle (Velp Scientifica FC6S marka) yapılmıştır. Başlangıç pH ayarlaması yapılmış 500 mL'lik atık su numunelerine deneysel tasarımda yer alan dozlarda Flo30 koagülantı ilave edilmiş ve 5 dakika 120 rpm'de hızlı karıştırma yapılmıştır. Daha sonra yine tasarımda belirlenen dozda APN (%1'lik) ilave edilerek 20 dakika süreyle 30 rpm'de yavaş karıştırma işlemi uygulanmış ve numune 1 saat çökelmeye bırakılmıştır. Çökelme işleminin ardından beherlerdeki duru fazdan alınan örneklerde KOİ, AKM ve renk analizleri Standart Metotlara göre yapılmıştır [20]. KOİ, AKM ve renk giderim verimleri Denklem 2 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Giderim} \cdot \text{Verimi, (\%)} = \frac{C_0 - C_s}{C_0} \times 100 \quad (2)$$

Denklemden; C_0 başlangıç kirletici konsantrasyonu (mg/L, Pt-Co), C_s deney sonunda ortamda kalan kirletici konsantrasyondur (mg/L, Pt-Co).

2.3. Deneysel Tasarım

Deney tasarımında çıktı parametreleri (KOİ (Y_1), AKM (Y_2) ve renk (Y_3)) YYY'nin MKT'ı kullanılarak ayrı ayrı optimize edilmiştir. Bağımsız değişkenler olarak; başlangıç pH (X_1), Flo30 koagülant dozu (X_2) ve APN flokülant dozu (X_3) ve bunların üç farklı seviyesi kullanılmıştır. Uzay dışı noktalarında yer aldığı tasarım seviyeleri ve değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Bağımsız değişkenler ve seviyeleri

| Değişkenler | Birim | Kod | Seviyeler | | | | |
|--------------|-------|-------|------------|----|-----|----|------------|
| | | | - α | -1 | 0 | +1 | + α |
| Başlangıç pH | - | X_1 | 3,5 | 5 | 6,5 | 8 | 9,5 |
| Flo30 Dozu | ml/L | X_2 | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 |
| APN Dozu | ml/L | X_3 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 |

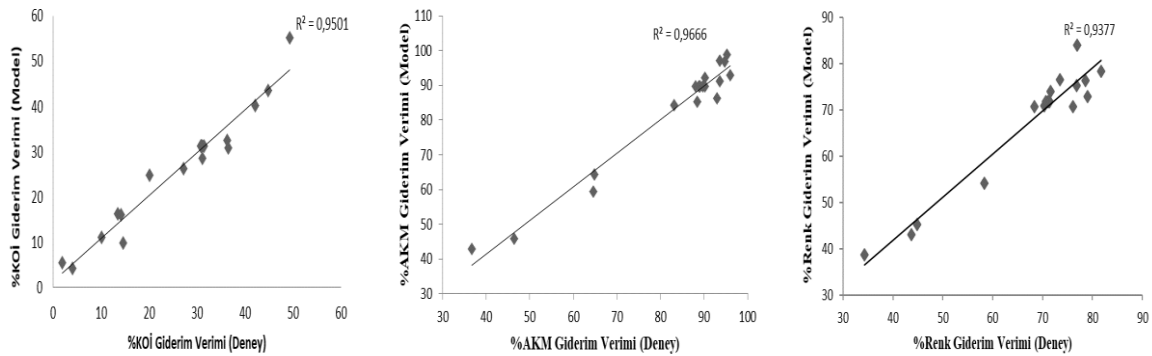
3. Sonuçlar ve tartışma

Deneyler, YYY'de yer alan MKT ile belirlenmiş olan deney tasarım matrisinde ki şartlara göre yapılmıştır. Deney şartları, bu şartlarda gerçekleştirilen deneylerde elde edilen KOİ, AKM ve renk giderim verimleri (%) ve model giderim verimleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Deney tasarımı ve kimyasal arıtım deney-model sonuçları

| Deney No | Parametreler | | | KOİ Giderim Verimi,% Deney | KOİ Giderim Verimi,% Model | AKM Giderim Verimi,% Deney | AKM Giderim Verimi,% Model | Renk Giderim Verimi,% Deney | Renk Giderim Verimi,% Model |
|----------|--------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | Başlangıç pH (X ₁) | Flo30 Dozu, ml/L (X ₂) | APN, ml/L (X ₃) | | | | | | |
| 1 | 5 | 6 | 10 | 36,49 | 30,83 | 92,91 | 86,29 | 79,01 | 72,99 |
| 2 | 8 | 6 | 10 | 4,08 | 4,33 | 46,38 | 45,74 | 43,70 | 43,05 |
| 3 | 5 | 12 | 10 | 42,06 | 40,09 | 94,71 | 96,78 | 81,68 | 78,38 |
| 4 | 8 | 12 | 10 | 13,47 | 16,24 | 89,69 | 89,78 | 71,62 | 74,07 |
| 5 | 5 | 6 | 30 | 36,32 | 32,58 | 88,47 | 85,32 | 76,10 | 70,75 |
| 6 | 8 | 6 | 30 | 10,14 | 11,14 | 64,52 | 59,44 | 44,90 | 45,29 |
| 7 | 5 | 12 | 30 | 44,82 | 43,60 | 93,54 | 91,13 | 78,63 | 76,38 |
| 8 | 8 | 12 | 30 | 20,13 | 24,81 | 95,23 | 98,79 | 73,45 | 76,56 |
| 9 | 3,5 | 9 | 20 | 49,25 | 55,05 | 93,65 | 97,21 | 76,97 | 83,97 |
| 10 | 9,5 | 9 | 20 | 14,58 | 9,75 | 64,81 | 64,32 | 58,30 | 54,20 |
| 11 | 6,5 | 3 | 20 | 1,93 | 5,51 | 36,74 | 42,95 | 34,33 | 38,68 |
| 12 | 6,5 | 15 | 20 | 31,06 | 28,45 | 95,94 | 92,79 | 76,79 | 75,34 |
| 13 | 6,5 | 9 | 0 | 14,17 | 15,98 | 83,13 | 84,18 | 68,38 | 70,68 |
| 14 | 6,5 | 9 | 40 | 27,16 | 26,31 | 90,21 | 92,22 | 70,35 | 70,94 |
| 15 | 6,5 | 9 | 20 | 30,91 | 31,28 | 88,82 | 89,79 | 71,27 | 71,82 |
| 16 | 6,5 | 9 | 20 | 32,94 | 31,28 | 90,14 | 89,79 | 71,36 | 71,82 |
| 17 | 6,5 | 9 | 20 | 31,08 | 31,28 | 89,07 | 89,79 | 71,05 | 71,82 |
| 18 | 6,5 | 9 | 20 | 30,77 | 31,28 | 88,07 | 89,79 | 70,70 | 71,82 |

Deneyler sonucunda; %KOİ giderimi verimi 1,93 ile 44,82 arasında değişirken, %AKM giderimi verimi 36,74 ile 95,94 arasında değişmiş, %Renk giderim verimi ise 34,33 ile 79,01 arasında gerçekleşmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar ile modelin tahmin ettiği sonuçlar arasındaki ilişkinin gösterildiği korelasyon grafikleri Şekil 1'de yer almaktadır.



Şekil 1. Sırasıyla %KOİ, %AKM ve %Renk giderim verimleri için deney ve model verilerinin korelasyon grafikleri

Şekil 1'e göre deney sonuçları ve model sonuçları arasında uyumlu bir ilişki görülmektedir. Maksimum giderim şartlarında ayrı ayrı optimize edilen modellerden elde edilen R^2 ve R^2_{adj} değerleri Tablo 4'te yer almaktadır. R^2 değeri en az 0,80 olan modellerin uyumlu [21]. Modellerin yüksek R^2 değerleri hesaplanan ve elde edilen sonuçlar arasındaki uyumun iyi olduğunu belirtmektedir. Buna göre örneğin; %KOİ giderim modelinde yer alan değişkenler KOİ giderim verimindeki değişimin %95,01'ini karşılamaktadır. Kalan %4,99'lük değişim modelde yer almayan başka değişkenlerden etkilenmektedir şeklinde açıklanabilir. Düzeltilmiş R^2 (R^2_{adj}) ile tahmin edilen R^2 arasındaki fark 2'den azdır. Bu sonuç ise, oluşturulan ikinci dereceden modelin tahminlerinin kabul edilebilir seviyede olduğunu göstermektedir [22].

Tablo 4. Model R^2 ve R^2_{adj} değerleri

| Giderim (%) | R^2 | R^2_{adj} |
|-------------|--------|-------------|
| KOİ | 0,9501 | 0,8941 |
| AKM | 0,9666 | 0,9290 |
| Renk | 0,9377 | 0,8676 |

%KOİ giderim verimi, %AKM giderim verimi ve %Renk giderim verimi için elde edilen model denklemleri sırasıyla Denklem 3,4 ve 5'te verilmiştir.

$$\%KOİ \text{ Giderim Verimi} = 43,2 - 12,18 * X_1 + 7,81 * X_2 + 0,590 * X_3 + 0,124 * X_1^2 - 0,397 * X_2^2 - 0,02533 * X_3^2 + 0,147 * X_1 * X_2 + 0,084 * X_1 * X_3 + 0,0147 * X_2 * X_3 \quad (3)$$

$$\%AKM \text{ Giderim Verimi} = 124,5 - 14,10 * X_1 + 3,78 * X_2 - 0,877 * X_3 - 1,003 * X_1^2 - 0,609 * X_2^2 - 0,00398 * X_3^2 + 1,864 * X_1 * X_2 + 0,244 * X_1 * X_3 - 0,0391 * X_2 * X_3 \quad (4)$$

$$\%Renk \text{ Giderim Verimi} = 122,8 - 15,33 * X_1 + 1,16 * X_2 - 0,40 * X_3 - 0,304 * X_1^2 - 0,411 * X_2^2 - 0,0025 * X_3^2 + 1,425 * X_1 * X_2 + 0,075 * X_1 * X_3 + 0,0021 * X_2 * X_3 \quad (5)$$

YYY'nin mevcut optimizasyon yöntemlerinden farkı olarak anlık olarak değişen her değerdeki kontrol edilemeyen değişken için optimum sonucun kendisini sürekli yenilemesi olduğu söylenebilir [14]. Ayrıca elde edilen matematiksel modeller kullanılarak bağımlı değişkenlerin belirlenen seviye aralığındaki farklı şartlarda çıktının değişimine deney yapılmadan ulaşılabilir. Bu amaçla; doğrulama deneyi olarak üç farklı deney planlanmış, deney şartları, bu şartlarda yapılan deney sonuçları ve giderim denklemlerinde parametrelerin değerleri yerine konularak hesaplanan model sonuçları da Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Doğrulama Deneyleri

| Deney No | pH | Flo30 Dozu, ml/L | APN Dozu, ml/L | KOİ Giderim Verimi, % Deney | KOİ Giderim Verimi, % Model | AKM Giderim Verimi, % Deney | AKM Giderim Verimi, % Model | Renk Giderim Verimi, % Deney | Renk Giderim Verimi, % Model |
|----------|-----|------------------|----------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1 | 4 | 5 | 15 | 39,22 | 37,82 | 94,37 | 90,66 | 75,54 | 78,74 |
| 2 | 5,5 | 8 | 25 | 35,30 | 36,90 | 93,65 | 91,21 | 74,24 | 74,14 |
| 3 | 7 | 11 | 35 | 27,25 | 29,07 | 94,30 | 97,23 | 70,37 | 75,47 |

Tablodan da görüleceği üzere model sonuçlarına yakın seviyede deney sonuçları elde edilmiştir. Modeldeki her faktörün ağırlığı varyans analizi (ANOVA) kullanılarak değerlendirilmiştir. KOİ, AKM ve renk gideriminin ayrı ayrı optimize edilmesi sonucu oluşturulan ikinci dereceden model denklemlerindeki anlamlılık katsayılarının yer aldığı ANOVA tablosu Tablo 6’da verilmiştir.

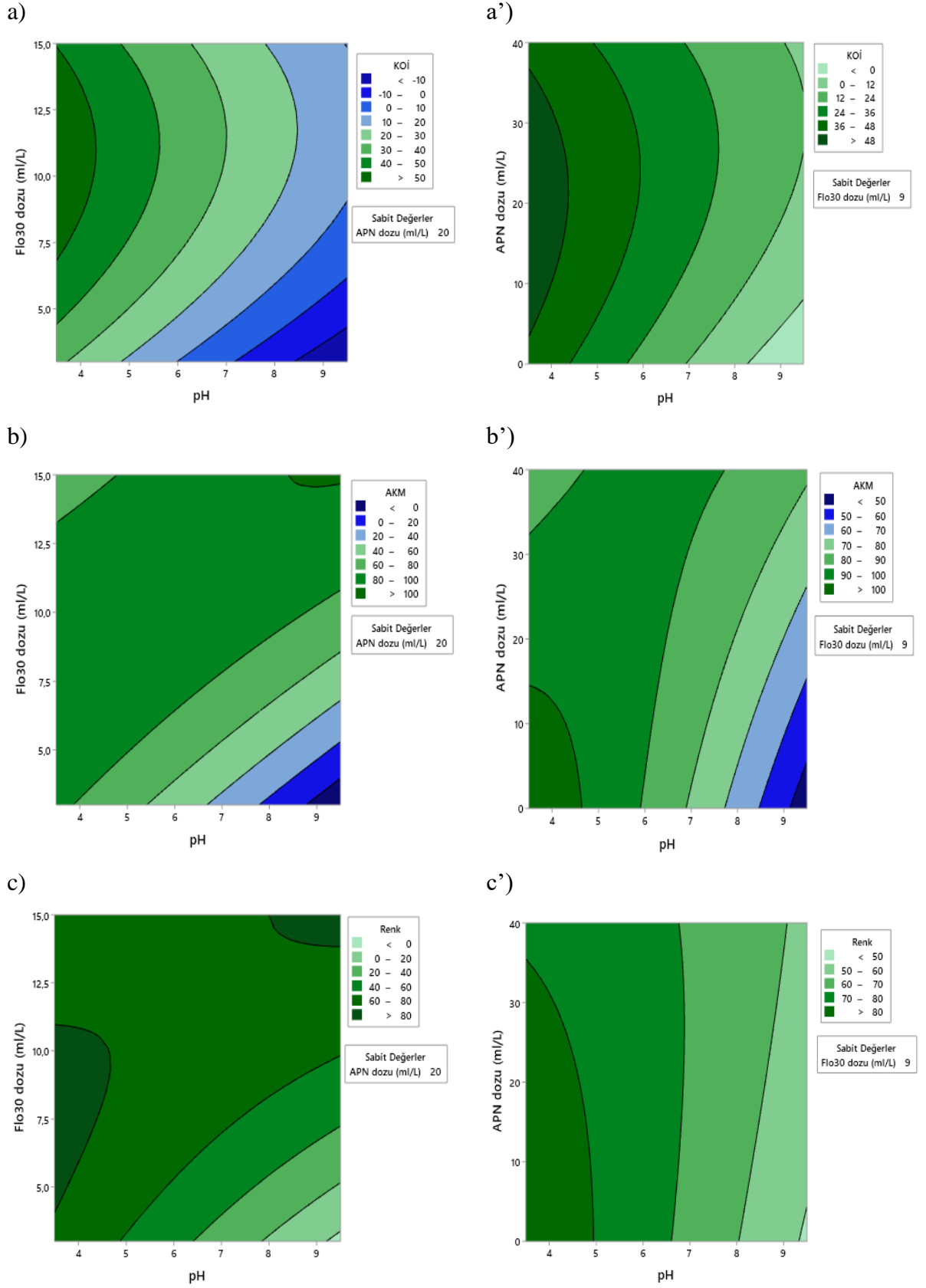
Tablo 6. KOİ, AKM ve Renk giderme yüzdesi için ikinci dereceden modelin varyans (ANOVA) analizi.

| Kaynak | KOİ Giderimi (%) | | AKM Giderimi (%) | | Renk Giderimi (%) | |
|---------------------------------|------------------|----------|------------------|----------|-------------------|----------|
| | F-Değeri | p-Değeri | F-Değeri | p-Değeri | F-Değeri | p-Değeri |
| Model | 16,94 | 0,000* | 25,72 | 0,000* | 13,38 | 0,001* |
| Lineer | 43,90 | 0,000* | 55,70 | 0,000* | 30,96 | 0,000* |
| X ₁ | 100,69 | 0,000* | 49,77 | 0,000* | 36,93 | 0,000* |
| X ₂ | 25,79 | 0,001* | 114,35 | 0,000* | 55,94 | 0,000* |
| X ₃ | 5,23 | 0,052 | 2,98 | 0,123 | 0,00 | 0,960 |
| Kuadratik | 6,63 | 0,015* | 11,01 | 0,003* | 4,47 | 0,040* |
| X ₁ ² | 0,08 | 0,780 | 5,12 | 0,054 | 0,42 | 0,533 |
| X ₂ ² | 13,69 | 0,006* | 30,17 | 0,001* | 12,45 | 0,008* |
| X ₃ ² | 6,87 | 0,031* | 0,16 | 0,700 | 0,06 | 0,817 |
| İki Faktör Etkileşimli | 0,29 | 0,829 | 10,45 | 0,004* | 4,71 | 0,035* |
| X ₁ *X ₂ | 0,17 | 0,689 | 25,90 | 0,001* | 13,69 | 0,006* |
| X ₁ * X ₃ | 0,63 | 0,450 | 4,95 | 0,057 | 0,42 | 0,535 |
| X ₂ * X ₃ | 0,08 | 0,789 | 0,51 | 0,497 | 0,00 | 0,972 |

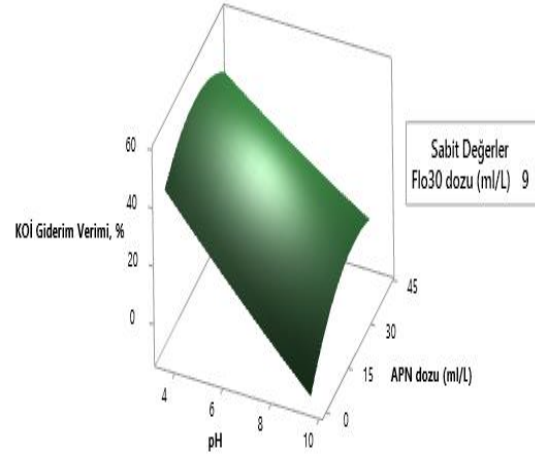
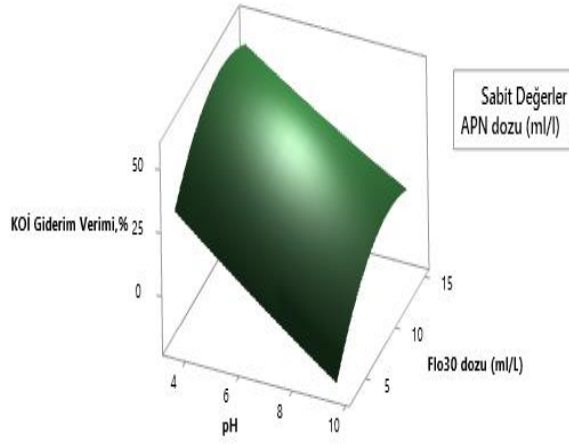
*X₁-başlangıç pH, X₂-Flo30 dozu (ml/L), X₃-APN (ml/L) olmak üzere p<0,05 için anlamlı.

Tablodaki değerler incelendiğinde tüm giderim modellerinin ve modellerdeki lineer ve kuadratik parametrelerin büyük çoğunluğunun anlamlı olduğu görülmektedir. Özellikle model, kareler ve iki faktör etkileşimli kısımlarının anlamlı (p<0,05) olması model geçerliliğini artırmaktadır [23]. ANOVA tablosuna göre KOİ ve renk giderimi üzerinde en çok etkisi olan parametreler başlangıç pH’sı ve Flo30 dozudur (p=0,000). APN dozunun giderim veriminde etkisi bulunmakla birlikte diğer parametrelerdeki kadar yüksek anlamlılık seviyesinde değildir.

Bağımsız değişkenlerin KOİ, AKM ve renk giderimi üzerindeki etkilerini veren kontür grafikleri Şekil 2’de, yüzey grafikleri Şekil 3’te toplu olarak verilmiştir. Her grafikte ayrı ayrı sabit tutulan değerler; APN dozu 20 ml/L, Flo30 dozu 9 ml/L, pH 6,5’tur.

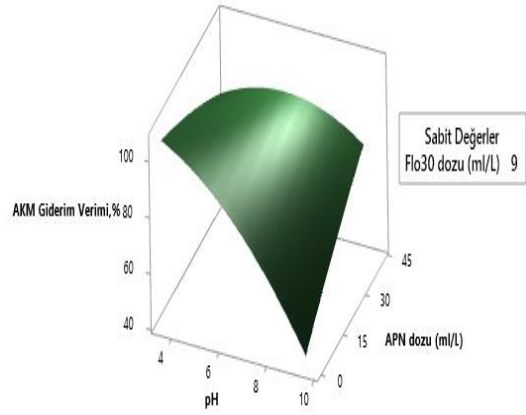
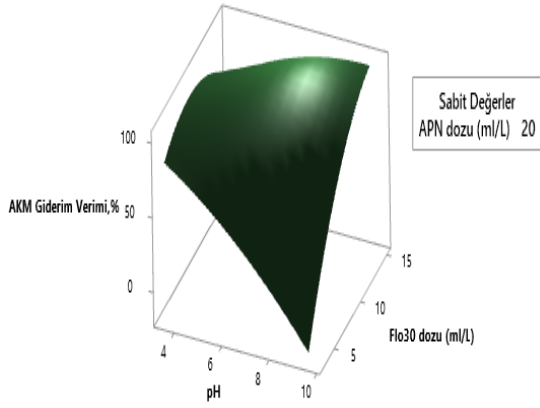


Şekil 2. Kontür grafikleri (a-a') KOİ (%), b-b')AKM (%), c-c')Renk (%)



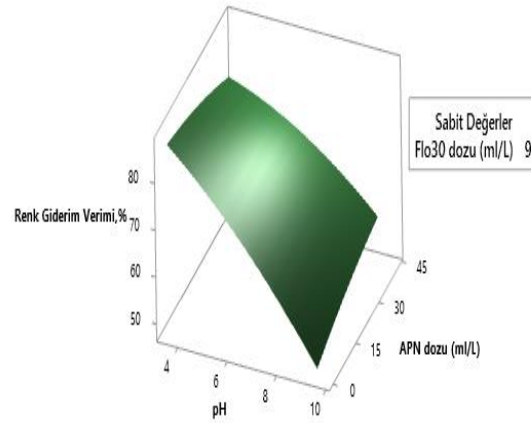
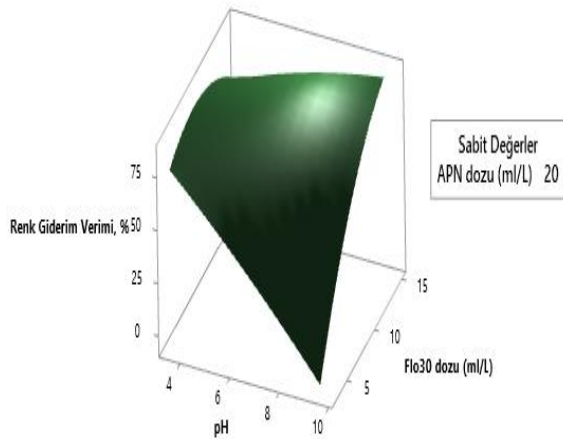
a)

a')



b)

b')



c)

c')

Şekil 3. Yüzey grafikleri (a-a') KOİ (%), b-b')AKM (%), c-c')Renk (%)

Sırasıyla; Şekil 2a ve 2a' grafiklerinde %KOİ giderim verimi üzerinde Flo30 dozu-başlangıç pH etkisi ile APN dozu-başlangıç pH etkisi görülmektedir. Bu etkilerin yüzey grafikleri ise Şekil 3a ve 3a' olarak verilmiştir. Şekil 2b ve 2b' grafiklerinde ise %AKM giderim verimi üzerine Flo30 dozu- başlangıç pH etkisi ile APN dozu-başlangıç pH etkisi yer almaktadır. Şekil 3b ve 3b'de ise bu etkilerin yüzey grafikleri gösterilmiştir. Şekil 2c ve 2c' grafiklerinde %Renk giderim verimi üzerine Flo30 dozu- başlangıç pH etkisi ile APN dozu-başlangıç pH etkisi bulunurken, bu etkilerin yüzey grafikleri Şekil 3c ve 3c' olarak verilmiştir.

Başlangıç pH'sındaki artış KOİ giderim verimini düşürürken, Flo30 ve APN dozundaki artış KOİ giderim verimini bir noktaya kadar arttırmıştır. Eklenen koagülant ve flokülant kimyasalları optimal dozdan fazla olduğunda partikül uzaklaştırma verimleri düşebilmektedir. Ayrıca ortamda reaksiyona girmeden kalan kimyasallar atık suda KOİ artışına da neden olabilmektedir. KOİ'nin aksine başlangıç pH'sı, Flo30 ve APN dozundaki artış AKM ve renk giderim verimini arttırmıştır. Pıhtılaşma ve flokülasyon sürecinde pH, hidroliz dengesini etkileyen çok önemli bir faktördür. Böylece çoğunlukla negatif yüklü olan kirletici katıları nötralize eder, organik kirleticileri adsorbe ederler ve sonuç olarak giderim verimini artırır [24]. AKM giderimindeki temel mekanizma asılı parçacıkların çökebilir forma dönüşmesidir, flokülant dozundaki artış taneciklerin çökebilirliğini arttırarak AKM giderim verimini de arttırmaktadır. Bu doğrultuda renk gideriminin de artması, asılı partiküllerle birlikte renge neden olan bileşenlerin çökerek sudan ayrılması olarak açıklanabilir.

Tasarımın maksimize edilmesi ile maksimum giderim verimlerinin elde edildiği şartlar tespit edilmiştir. Buna göre;

- Başlangıç pH 3,5, koagülant dozu 10,55 ml/L, APN dozu 20,6 ml/L şartlarında; model tarafından %56,38 olarak verilen maksimum KOİ giderim verimi tekrarlı deney sonucu $56,83 \pm 1,82$ bulunmuştur.
- Başlangıç pH 9,5, koagülant dozu 15 ml/L, APN dozu 40 ml/L şartları ise AKM ve renk giderim verimlerinin maksimumunu veren şartlar olup, bu şartlarda modelden alınan sonuçlar %100 AKM giderim verimi, %87,21 renk giderim verimidir. Maksimum noktadaki tekrarlı deneyler sonucunda da $96,46 \pm 1,45$ AKM giderimi ve $83,2 \pm 0,66$ renk giderim verimi elde edilmiştir.

Model verileri ile elde edilen deneysel daların yakınlığı ve uyumu modelin geçerliliğini bir kez daha kanıtlamıştır.

4. Değerlendirme

Bu çalışmada; KOİ ve AKM, renk içeriği oldukça yüksek gerçek bir atık su olan yonga levha endüstrisi atık suyunun kimyasal koagülasyon/flokülasyon prosesinde yeni bir koagülant olan Flo30 koagülantı, doğal ve maliyeti düşük bir flokülant olan APN kullanılarak giderimi ve optimizasyonu incelenmiştir. Maksimum %56,83 KOİ, %96,46 AKM ve %83,2 renk giderimi sağlanmıştır.

Kimyasal ön arıtım işleminde farklı işlem parametrelerinin etkilerini tanımlamak için YYY kullanılarak sürecin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu yanıtlar için geliştirilen güven seviyesi yüksek ($R^2 > 0,9$) ikinci dereceden modeller, farklı şartlar altında KOİ, AKM ve renk giderim verimlerinin tahmini için kullanılabilir. Kimyasal arıtımın yonga levha atık sularının ön arıtımında etkili ve kullanılabilir bir proses olduğu tespit

edilmiştir. Ön arıtılmış yonga levha atık suyuna ileri arıtım teknikleri uygulanarak atık suyun geri kazanım performansının artırılacağı, böylece endüstrilerde su verimliliğinin sağlanabileceği düşünülmektedir.

Dipnot

Bu çalışma Prof.Dr.Ahmet GÜNAY danışmanlığında Arş.Gör.Dr.Yeliz SÜZEN tarafından tamamlanan “Yonga Levha Endüstrisi Atık Sularının Kimyasal ve Elektrokimyasal Yöntemleriyle Arıtımı ve Optimizasyonu” başlıklı ve 789531 tez no’lu doktora tezinden türetilmiştir.

Kaynaklar

- [1] İbiş, M., Bir Yonga levha fabrikasında ham madde kaynaklarının optimizasyonu ve üretim koşullarının teknolojik yönden incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce, (2018).
- [2] Göktaş O., Alma, H., Erdil, Z.Y., Günsel U., Özen, E. ve Dican, Ö., Ege bölgesi bağ budama artıklarının yonga levha endüstrisinde değerlendirilmesi, TÜBİTAK TOVAG Proje, Ankara, (2008).
- [3] Özmetin, E., Süt endüstrisi atıksularının kimyasal arıtımının yanıt yüzey yöntemi ile optimizasyonu, **Journal of the Institute of Science and Technology**, 9, 4, 1968–1976, (2019).
- [4] Wang, J.P., Chen, Y.Z., Ge, X.W. and Yu, H.Q., Optimization of coagulation–flocculation process for a paper-recycling wastewater treatment using response surface methodology, **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, 302, 1, 204–210, (2007)
- [5] Singh, B. and Kumar, P., Pre-treatment of petroleum refinery wastewater by coagulation and flocculation using mixed coagulant: Optimization of process parameters using response surface methodology (RSM), **Journal of Water Process Engineering**, 36, 101317, 1-17, (2020).
- [6] Kamali, M. and Khodaparast, Z., Review on recent developments on pulp and paper mill wastewater treatment, **Ecotoxicology and Environmental Safety**, 114, 326–342, (2015).
- [7] El-taweel, R.M., Mohamed, N., Alrefaey, K.A., Husien, H., Aziz, A.B., Salim A.I., Mostafa, N.G., Said, L.A., Fahim, I.S. and Radwan, A.G., A review of coagulation explaining its definition, mechanism, coagulant types, and optimization models; RSM, and ANN, **Current Research Green Sustainable Chemistry**, 6, 100358, 1-23, (2023).
- [8] Igwegbe, C.A., Ighalo, J.O., Iwuozor, K.O., Onukwuli, O.D., Okoye, P.U. and Al-Rawajfeh, A.E., Prediction and optimisation of coagulation-flocculation process for turbidity removal from aquaculture effluent using *Garcinia kola* extract: Response surface and artificial neural network methods, **Cleaner Chemical Engineering**, 4, 100076, 1-11, (2022).
- [9] Gaayda, J.E., Rachid, Y., Titchou, F.E., Barra, I., Hsini, A., Yap, P.S., Oh, W.D., Swanson, C., Hamdani, M. and Akbour, R.A., Optimizing removal of chromium (VI) ions from water by coagulation process using central composite design: Effectiveness of grape seed as a green coagulant, **Separation and Purification Technology**, 307, 122805, 1-15, (2023).
- [10] Korkmaz, M., Özmetin, E., Süzen, Y., Çalgan, E. ve Özmetin, C., A new

- adsorbent (aluminum modified talc) for phosphate removal from alkaline solutions and optimization of data by central composite design, **Desalination Water Treatment**, 245, 178–190, (2022).
- [11] Myers, R.H., Montgomery, D.C., Vining, G.G., Borror, C.M. and Kowalski, S.M., Response Surface Methodology: A Retrospective and Literature Survey, **Journal of Quality Technology**, 36, 1, 53–77, (2004).
- [12] Süzen, Y. and Ozmetin, C., Removal of reactive black 5 dye using fenton oxidation from aqueous solutions and optimization of response surface methodology, **Desalination Water Treatment**, 172, 106–114, (2019).
- [13] Baş, D. and Boyacı, İ.H., Modeling and optimization I: Usability of response surface methodology, **Journal of Food Engineering**, 78, 3, 836–845, (2007).
- [14] Karaoğlan, A.D., Demir, M.M. and Çarkacı, M.M., Minimization of pres time at particleboard production, **Pamukkale University Journal Engineering Science**, 24, 4, 658–664, (2018).
- [15] Volkan, N. ve Ozmetin, E., Maxilon Blue GRL boyar maddesinin illit kil minerali ile gideriminin optimizasyonu, **Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi**, 10, 1, 216–232, (2022).
- [16] Márquez-Montes, R.A., Orozco-Mena, R.E., Camacho-Dávila, A.A., Pérez-Vega, S., Collins-Martínez, V.H. and Ramos-Sánchez, V.H., Optimization of the electrooxidation of aqueous ammonium sulfite for hydrogen production at near-neutral pH using response surface methodology, **International Journal of Hydrogen Energy**, 45, 27, 13821–13831, (2020).
- [17] Arslan Alaton, I., Tureli, G. and Olmez Hanci, T., Treatment of azo dye production wastewaters using Photo-Fenton-like advanced oxidation processes: Optimization by response surface methodology, **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, 202, 2–3, 142–153, (2009).
- [18] Özmetin, E., Yaşar, Y. ve Karaoğlan, A.D., Pirinç kabuğu ile metilen mavisi gideriminin optimizasyonu, III. Fiziksel Kimya Günleri, Balıkesir, (2012).
- [19] Katip, A., Pestisit endüstrisi atıksularının koagülasyon/flokülasyon prosesi ile geri kazanımının değerlendirilmesi, **Doğal Afetler ve Çevre Dergisi**, 90, 224, 94–100, (2018).
- [20] WEF, A.A., **Standard methods for the examination of water and wastewater**, 19th Edition, Washington DC., (1995).
- [21] Bashir, M.J.K., Aziz, H.A., Yusoff, M.S. and Adlan, M.N., Application of response surface methodology (RSM) for optimization of ammoniacal nitrogen removal from semi-aerobic landfill leachate using ion exchange resin, **Desalination**, 254, 1, 154–161, (2010).
- [22] Beyan, S.M., Prabhu, S.V., Sissay, T.T. and Getahun, A.A., Sugarcane bagasse based activated carbon preparation and its adsorption efficacy on removal of BOD and COD from textile effluents: RSM based modeling, optimization and kinetic aspects, **Bioresource Technology Reports**, 14, 100664, (2021).
- [23] Arami-Niya, A., Wan Daud, W.M.A., Mjalli, F.S., Abnisa, F. and Shafeeyan, M.S., Production of microporous palm shell based activated carbon for methane adsorption: Modeling and optimization using response surface methodology, **Chemical Engineering Research and Design**, 90, 6, 776–784, (2012).
- [24] Ghafari, S., Aziz, H.A. and Bashir, M.J.K., The use of poly-aluminum chloride and alum for the treatment of partially stabilized leachate: A comparative study, **Desalination**, 257, 1, 110–116, (2010).