

## Fenton ve Fenton-Benzeri İleri Oksidasyon Yöntemleri ile Acid Yellow 36 Boyar Maddesinin Giderimi

Nihal KOCAKAPLAN<sup>1</sup>, Neşe ERTUGAY<sup>2</sup>, Emine MALKOÇ<sup>1</sup>

**ÖZET:** Bu çalışmada, Acid Yellow 36 (AY36) boyar maddesinin Fenton ve Fenton-benzeri oksidasyon yöntemi ile giderimi araştırılmıştır. Oksidasyon prosesine pH, demir (Fe<sup>0</sup> ve Fe<sup>+2</sup>), hidrojen peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) ve boyar madde konsantrasyonunun etkisi incelenmiştir. AY36 giderimi renk, aromatiklik ve KOI üzerinden izlenmiştir. Fenton ve Fenton-benzeri oksidasyonunda renk aromatiklikten daha fazla giderilmiştir. AY36 boyar maddesinin gideriminde, Fenton-benzeri oksidasyonun Fenton oksidasyon prosesinden daha etkili olduğu bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Acid Yellow 36, Fenton Proses, Fenton-benzeri proses, KOI



## Removal of Acid Yellow 36 Dyestuff With Fenton and Fenton-Like Advanced Oxidation Methods

**ABSTRACT:** In this study, the decolorization of Acid Yellow 36 (AY36) dyestuff by Fenton and Fenton like oxidation method was investigated. The effect of pH, iron (Fe<sup>0</sup> and Fe<sup>+2</sup>) hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) and concentration of dyestuff on oxidation process was determined. The removal of AY36 was determined by means of color, aromatic and COD. The color was more removed than aromatic in Fenton and Fenton-like oxidation. It was found that Fenton-like oxidation was more effective than Fenton oxidation process in removal of AY36 dyestuff.

**Keywords:** Acid Yellow 36, Fenton Process, Fenton-like process, COD

<sup>1</sup> Atatürk Üniversitesi, Çevre Sorunları Araştırma Merkezi, Erzurum, Türkiye

<sup>2</sup> Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği, Erzurum, Türkiye  
Sorumlu yazar/Corresponding Author: nertugay@atauni.edu.tr

## GİRİŞ

Azo boyar maddeleri tekstil elyafı boyama işleminde yaygın olarak kullanılmakta olup renkleri, biyolojik olarak zor ayrışabilirlikleri ve canlılar üzerinde potansiyel toksisite teşkil etmeleri nedenleriyle atıksu arıtımında problem yaratabilmektedirler (Reife and Freeman, 1996). Azo boyalar mikroorganizmalar tarafından kolayca degrade edilemezler. Azo boyalar tekstil atıklarının %60-70'inde bulunurlar. Bu boyalar solüsyonlarda çözünürler ve klasik arıtım teknikleriyle arıtımları oldukça zordur. Parlak renkleri, basit kullanımları ve düşük enerji maliyetleri nedeni ile sanayide oldukça sık kullanılırlar. Çok az konsantrasyonlarda bile suyun estetik özelliğini değiştirir ve çözünürlüğünü düşürürler. Fotosentetik aktiviteyi önemli ölçüde etkilerler, sucul ortamlarda ışığın penetrasyonunu azaltırlar ve yapılarındaki metaller, kloridler ve aromatikler nedeni ile sucul yaşamı olumsuz yönde etkilerler (Forgacs et al., 2004).

İleri Oksidasyon Prosesleri (AOP), toksik ve kalıcı özellikteki organik maddeleri hiçbir ayırım yapmadan zararsız son ürünlere dönüştürebilmektedir. Seçici olmayan ve hızlı bir şekilde su ortamındaki organik kirliliği okside eden  $\cdot\text{OH}$  gibi reaktif türlerinin oluşumuna dayanan AOP; UV; UV/ $\text{H}_2\text{O}_2$ ;  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$  (Fenton prosesi),  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^0$  (Fenton-benzeri), UV/ $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$  (Foto-Fenton prosesi) gibi değişik modifikasyonlarda uygulanabilmektedir (Gül and Özcan Yıldırım, 2009). Fenton benzeri  $\text{Fe}^0$ (ZVI) / $\text{H}_2\text{O}_2$ , Fenton oksidasyon prosesi  $\text{Fe}^{+2}$  ve  $\text{H}_2\text{O}_2$  karışımı varlığında gerçekleştirilen bir seri oksidasyon ve pıhtılaştırma-yumaklaştırma uygulamasıdır. Oksidasyon uygulamalarında en güçlü oksidanlardan

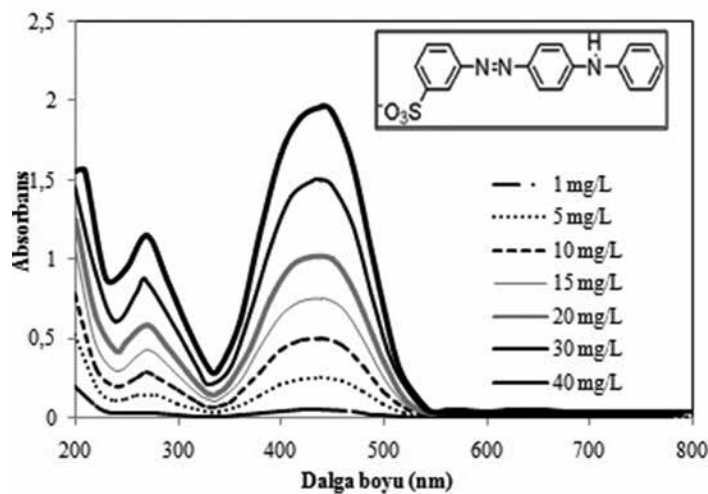
biri olan hidroksil radikali ( $\cdot\text{OH}$ ) bu proseste üretilip kullanılmaktadır (Hanay and Hasar, 2007).

AY36 suda çözünebilen ve birçok endüstriyel alanda (deri, tekstil, kağıt) kullanılan bir boyadır (Khezrianjoo and Revanasiddappa, 2013). AY36 boyar maddesinin toksik özellikler gösterdiği, sucul ortamda balık ölüm oranlarını artırmasının yanı sıra renk değişimi, ağırlık kaybı gibi bir çok etkisi de belirlenmiştir (Malik, 2003).

Bu çalışmada azo grubu bir boyar madde olan AY36'nın Fenton ve Fenton- benzeri oksidasyon yöntemi ile sulu ortamdan giderilebilirliği araştırılmıştır.  $\text{Fe}^0$  ve  $\text{Fe}^{+2}$  kullanılan ve kesikli olarak yürütülen çalışmada arıtma verimi; renk (absorbans azalması) ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOI) parametreleri ile değerlendirilmiştir.

## MATERYAL VE YÖNTEM

Kullanılan boyar madde (AY36) Aldrich firmasından elde edilmiştir. Molekül formülü  $\text{C}_{18}\text{H}_{14}\text{N}_3\text{NaO}_3\text{S}$  olup molekül ağırlığı  $375.38 \text{ g mol}^{-1}$ 'dir. AY36 boyar maddesinin molekül yapısı Şekil 1'de verilmiştir (Clarke et al., 2013). Şekil 1'den de görüldüğü gibi, AY36 boyar maddesi için maksimum absorbanslar 270 nm ve 437 nm dalga boylarındadır. 270 nm absorbans değeri, boyaların yapısındaki naftalin ve benzen gruplarındaki  $\pi-\pi^*$  geçişlerini, 437 nm'deki absorbanslar boyaların yapısındaki kromofor grubun ( $-\text{N}=\text{N}-$ )  $n-\pi^*$  geçişlerini göstermektedir. Bu nedenle 200-400 nm dalga boyu arasındaki absorbans ölçümleri aromatiklik gideriminde, 400-800 nm dalga boyu arasındaki absorbans ölçümleri ise renk gideriminin izlenmesi için önemlidir (Yıldırım, 2009).



Şekil 1. AY36 boyar maddesinin moleküler yapısı ve farklı konsantrasyonlarda spektrum analizi

Fenton ve Fenton-benzeri ileri oksidasyon deneyleri oda sıcaklığında, değişen  $\text{Fe}^{+2}$ ,  $\text{Fe}^0$  ve  $\text{H}_2\text{O}_2$  dozları için belirlenen pH değerinde gerçekleştirilerek renk, aromatiklik ve KOI giderimleri tespit edilmiştir.

Fenton ve Fenton-benzeri ileri oksidasyon prosesinde, istenilen konsantrasyonda hazırlanan boyanın ilk önce pH değeri ayarlanmıştır. Daha sonra sırasıyla  $\text{Fe}^0/\text{Fe}^{+2}$  ve  $\text{H}_2\text{O}_2$  ilave edilerek 150 rpm karıştırma hızında 3 dakika ve 30 rpm karıştırma hızında 17 dakika karıştırıldıktan sonra 0,45  $\mu\text{m}$  membran filtreden geçirilerek renk ve KOI ölçümleri yapılmıştır. Renk ölçümleri AY36 boyar maddesi için yapılan spektrum analizi sonucunda belirlenen 437 nm dalga boyunda spektrofotometrik olarak okunmuştur. Bütün deneylerde, absorbans azalmaları 3 kat seyreltilerek okunmuştur.

KOI analizleri ise 148°C'de Merck Spectroquant TR320'de Standart Metotlara göre 600 nm'de spektrofotometrik olarak yapılmıştır (APHA, 1985).

## BULGULAR VE TARTIŞMA

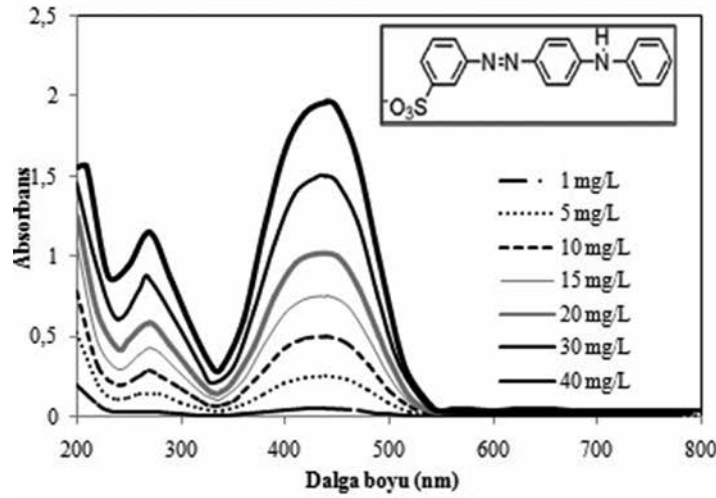
### Fenton ve Fenton-benzeri Oksidasyonu ile AY36 Boyar Madde Giderimine pH'ın Etkisi

Fenton ve Fenton-benzeri oksidasyonda, 100 mg  $\text{L}^{-1}$  AY36 boyar maddesinin optimum pH değerinin belirlenmesi amacıyla pH 2.5–5 aralığında değiştirilmiştir.

Her iki proseste renk ve KOI gideriminin düşük pH değerlerinde meydana geldiği Şekil 2'de görülmektedir. Fenton prosesinde pH=2.5 değerinde renk giderimi 437 nm dalga boyunda %89 iken KOI giderimi %34 civarındadır.

Şekil 2'de 270 nm dalga boyunda aromatiklik giderim verimlerinin 437 nm dalga boyunda elde edilen renk giderim verimlerinden kayda değer derecede düşük olduğu görülmektedir.

Bu aromatiklik gideriminin renk giderimi kadar etkili olmadığını kanıtlar.

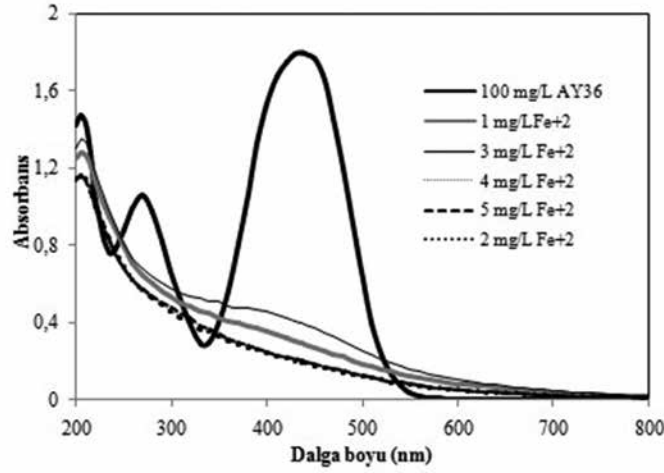


Şekil 2. Dalga boylarına göre aromatiklik giderim verileri

Fenton benzeri oksidasyonda pH=2.0 değerinde renk 437 nm dalga boyunda %92 oranında giderilirken pH=4.0'te giderim %11 değerine düşmüştür. Bunun sebebi,  $\text{Fe}^0$  asidik şartlarda kolay bir şekilde çözünmez ve bu yüzden  $\text{Fe}^{+2}$  iyonları üretir ve üretilen  $\text{Fe}^{+2}$  iyonları OH oluşturmak üzere  $\text{H}_2\text{O}_2$  ile reaksiyona girer. pH değerinin artması ile ise OH iyonlarının varlığında  $\text{Fe}^0$  dan kaynaklanan  $\text{Fe}^{+2}$  iyonları  $\text{Fe}^0$  in yüzeyinde  $\text{FeOH}$  çökeltileri oluşturabilir. Böylece reaktif bölgeler işgal edilmekte ve bu yüzden reaksiyon engellenmektedir (Fu et al., 2010).

### Fenton ve Fenton-benzeri Oksidasyonu ile AY36 Boyar Madde Giderimine $\text{Fe}^0/\text{Fe}^{+2}$ Konsantrasyonun Etkisi

$\text{H}_2\text{O}_2$  (100 mg  $\text{L}^{-1}$ ) ve AY36 (100 mg  $\text{L}^{-1}$ ) konsantrasyonları sabit tutularak, pH 2.5 değerinde, farklı  $\text{Fe}^0$  (0.1 g  $\text{L}^{-1}$ , 0.2 g  $\text{L}^{-1}$ , 0.3 g  $\text{L}^{-1}$  ve 0.4 g  $\text{L}^{-1}$ ) ve  $\text{Fe}^{+2}$  (1 mg  $\text{L}^{-1}$ , 2 mg  $\text{L}^{-1}$ , 3 mg  $\text{L}^{-1}$ , 4 mg  $\text{L}^{-1}$  ve 5 mg  $\text{L}^{-1}$ ) konsantrasyonları değiştirilerek renk (absorbans azalması) ve KOI gideriminin nasıl etkilendiği araştırılmıştır. Şekil 3'de görüldüğü gibi, 2 mg  $\text{L}^{-1}$   $\text{Fe}^{+2}$  konsantrasyonunda en yüksek absorbans azalması elde edilmiştir.

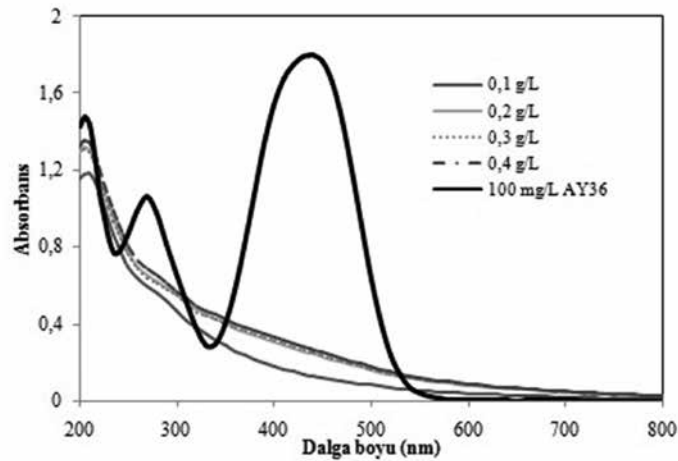


**Şekil 3.** Fenton oksidasyonu ile AY36 boyar maddesi giderimine  $Fe^{+2}$  konsantrasyonunun etkisi (AY36 kons.=100 mg  $L^{-1}$ , pH=2.5,  $H_2O_2$  kons.=100 mg  $L^{-1}$ )

Fenton ve Fenton-benzeri oksidasyon prosesinde 437 nm dalga boyundaki absorbans değerinde hem  $Fe^{+2}$  konsantrasyonlarında (Şekil 3) hem de  $Fe^0$  konsantrasyonlarında (Şekil 4) azalma görülmüştür. 270 nm dalga boyunda ise absorbans azalması daha az izlenmiştir. Fenton oksidasyon prosesinde, AY36 boyar maddesi için yüzde aromatiklik giderimi 1,2,3,4 ve 5 mg  $L^{-1}$   $Fe^{+2}$  konsantrasyonu için sırasıyla %39.04, %46.19, %35.94, %45.94 ve %46.09 olarak yüzde renk giderimi aynı konsantrasyonlar için sırasıyla %83.70, %89.26, %77.92, %88.93 ve %88.82 olarak belirlenmiştir. Aynı şekilde, Fenton-benzeri oksidasyon prosesinde, AY36 boyar maddesi için yüzde aromatiklik giderimi 0.1,

0.2, 0.3 ve 0.4 g  $L^{-1}$   $Fe^0$  konsantrasyonu için sırasıyla %43.93, %38.75, %39.88 ve %35.74 olarak yüzde renk giderimi aynı konsantrasyonlar için sırasıyla %92.66, %86.26, %85.87 ve %84.93 olarak belirlenmiştir.

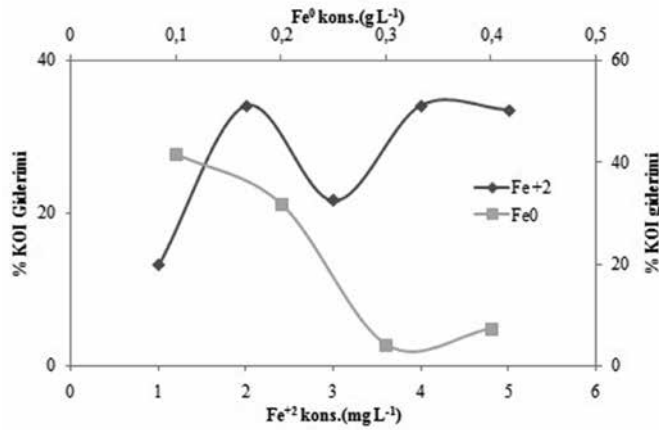
0.1 g  $L^{-1}$   $Fe^0$  konsantrasyonunda absorbansta büyük şekilde azalma var iken diğer konsantrasyonlarda renk absorbans azalması birbirine yakındır. Bunun sebebi, belli miktarlardaki  $Fe^0$ ,  $H_2O_2$  üretimini artırmasına rağmen, fazlası  $H_2O_2$ 'nin ayrışmasını ve Fenton benzeri reaksiyonlardan üretilen oksidantların tüketilmesini hızlandırabilir (Zhou et al., 2009). Bu nedenle  $Fe^0$  konsantrasyonu 0.1 g  $L^{-1}$  olarak alınmıştır.



**Şekil 4.** Fenton-benzeri oksidasyonu ile AY36 boyar maddesi giderimine  $Fe^0$  konsantrasyonunun etkisi (AY36 kons.=100 mg  $L^{-1}$ , pH=2.0,  $H_2O_2$  kons.=100 mg  $L^{-1}$ )

AY36 boyar maddesinin Fenton ve Fenton-benzeri oksidasyon yöntemi ile artırımında farklı  $Fe^{+2}$  ve  $Fe^0$

konsantrasyonlarında KOI gideriminde de benzer sonuçlar elde edilmiştir.



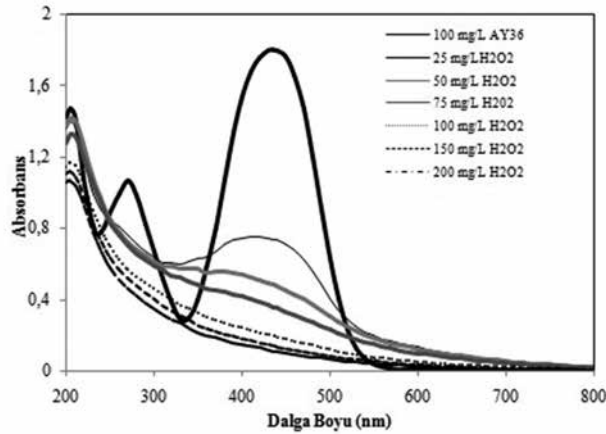
**Şekil 5.** AY36 boyar maddesinin Fenton ve Fenton-benzeri oksidasyonunda farklı  $Fe^{+2}$  ve  $Fe^0$  konsantrasyonlarında KOI giderim verimleri (AY36 kons.=100 mg L<sup>-1</sup>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kons.=100 mg L<sup>-1</sup>)

Şekil 5'ten görüldüğü gibi, renk gideriminin en yüksek olduğu  $Fe^{+2}$  ve  $Fe^0$  konsantrasyonlarında KOI giderimi de en yüksektir.

2 mg L<sup>-1</sup>  $Fe^{+2}$  konsantrasyonunda KOI giderim verimi %34.08 iken 3 mg L<sup>-1</sup>  $Fe^{+2}$  konsantrasyonunda %21.66 değerine düşmüştür. Aynı şekilde, 0.1 g L<sup>-1</sup>  $Fe^0$  konsantrasyonunda KOI giderim verimi %41.59 iken  $Fe^0$  konsantrasyonunun 0.4 g L<sup>-1</sup> ye yükselmesi ile verim %7.21 değerine azalmıştır.

### Fenton ve Fenton-benzeri Oksidasyonu ile AY36 Boyar Madde Giderimine H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Konsantrasyonunun Etkisi

$Fe^{+2}$  (2 mg L<sup>-1</sup>),  $Fe^0$ (0.1 g L<sup>-1</sup>) ve AY36 (100 mg L<sup>-1</sup>) konsantrasyonları sabit tutularak Fenton ve Fenton-benzeri oksidasyon prosesi ile AY36 boyar maddesinin giderimine H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonunun etkisi incelenmiştir. Renk gideriminin sonuçları absorbans azalması şeklinde ve KOI gideriminin sonuçları ise %giderim şeklinde Şekil 6, 7 ve 8'de verilmiştir.



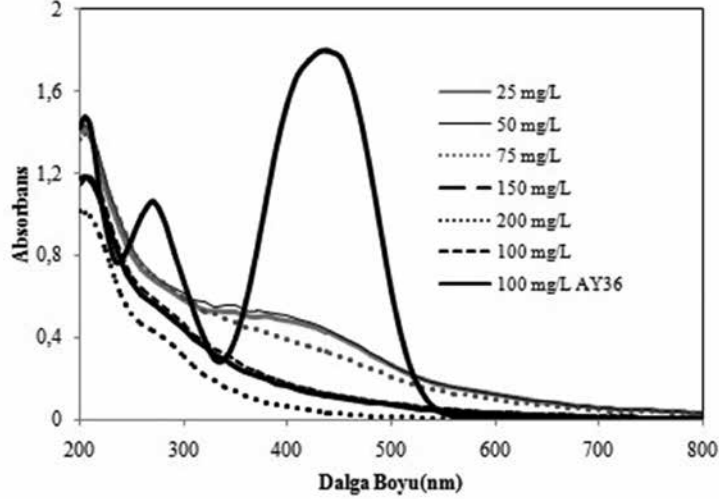
**Şekil 6.** Fenton oksidasyonu ile AY36 boyar maddesi giderimine H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonunun etkisi (AY36 kons.=100 mg L<sup>-1</sup>, pH=2.0,  $Fe^{+2}$  kons.=2 mg L<sup>-1</sup>)

Şekil 6 ve Şekil 7'den de görüldüğü üzere, 25 mg L<sup>-1</sup>'den 200 mg L<sup>-1</sup>'ye kadar artan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonlarında gözlenen renk giderim verimi H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'in konsantrasyonu ile paralel bir artış göstermiştir. Çalışılan en düşük konsantrasyonda dahi renk

gideriminin oldukça yüksek olduğu görülmüştür. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonunun 150 mg L<sup>-1</sup> ve 200 mg L<sup>-1</sup> değerine yükselmesi ile renkteki ani azalmanın yavaşladığı ve hemen hemen stabil hale geldiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle Fenton ve Fenton-benzeri oksidasyon çalışmalarında H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

konsantrasyonu  $100 \text{ mg L}^{-1}$  olarak alınmıştır.  $\text{Fe}^{+2}/\text{Fe}^0$  ve  $\text{H}_2\text{O}_2$  konsantrasyonundaki artışın renk ve KOI giderimini artırması, demir iyonlarının artması ile oksidasyon

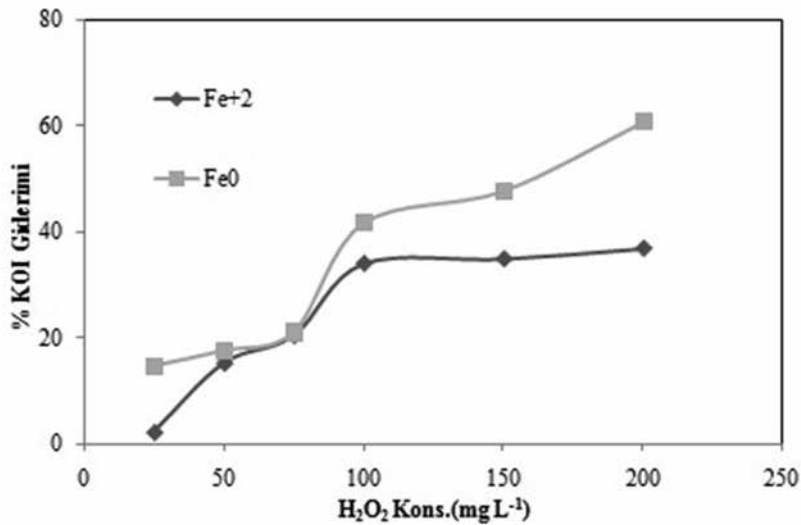
hızının artması, ancak  $\text{H}_2\text{O}_2$  konsantrasyonunun kirlenmelerin parçalanmasına etkisinin daha büyük olması ile açıklanabilir (Dokuzoğlu et al., 2009).



Şekil 7: Fenton-benzeri oksidasyonu ile AY36 boyar maddesi giderimine  $\text{H}_2\text{O}_2$  konsantrasyonunun etkisi (AY36 kons.= $100 \text{ mg L}^{-1}$ , pH=2.5,  $\text{Fe}^0$  kons.= $0.1 \text{ g L}^{-1}$ )

Fenton ve Fenton-benzeri oksidasyonu ile boyar madde gideriminde farklı  $\text{H}_2\text{O}_2$  konsantrasyonlarında, 270 nm dalga boyunda  $\text{H}_2\text{O}_2$  konsantrasyonunun artması ile absorbans değerlerinin azaldığı ancak 437 nm dalga boyunda absorbans değerlerindeki azalmanın daha fazla olduğu görülmüştür.  $\text{H}_2\text{O}_2$  konsantrasyonu arttıkça renk giderimi aromatiklik

gideriminden daha fazladır. Fenton prosesinde  $150 \text{ mg L}^{-1}$   $\text{H}_2\text{O}_2$  konsantrasyonunda aromatiklik giderimi %51.26 iken renk giderimi %92.32'dir. Aynı şekilde, Fenton-benzeri oksidasyon prosesinde,  $150 \text{ mg L}^{-1}$   $\text{H}_2\text{O}_2$  konsantrasyonunda aromatiklik giderimi %46.66 iken renk giderimi %93.38 olarak bulunmuştur.



Şekil 8. Fenton ve Fenton-benzeri oksidasyonunda AY36 boyar maddesinin farklı  $\text{H}_2\text{O}_2$  konsantrasyonlarında KOI giderim verimleri (AY36 kons.= $100 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $\text{Fe}^{+2}$  = $2 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $\text{Fe}^0$ = $0.1 \text{ g L}^{-1}$ )



Şekil 8'de,  $H_2O_2$  konsantrasyonunun artmasıyla KOI gideriminin de arttığı açık bir şekilde görülmektedir. KOI giderimi Fenton-benzeri reaksiyonlarda Fenton reaksiyonlarından daha fazladır.  $25 \text{ mg L}^{-1}$   $H_2O_2$  konsantrasyonunda Fenton reaksiyonu ile yaklaşık %2 oranında KOI giderilirken Fenton benzeri reaksiyonu ile %15 civarında KOI giderilmektedir.

### Fenton ve Fenton-benzeri Oksidasyonu ile AY36 Boyar Madde Giderimine Boyar Madde Konsantrasyonunun Etkisi

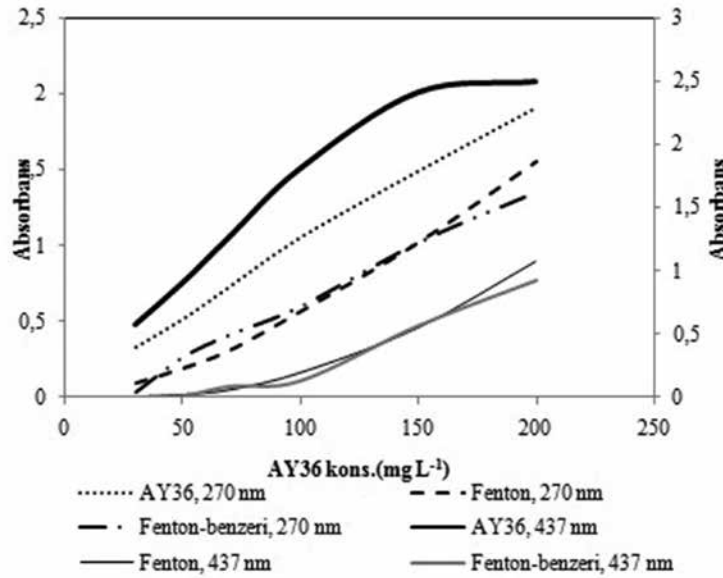
Fenton ve Fenton-benzeri oksidasyon prosesinde boyar madde konsantrasyonunun etkisi incelenirken;

AY36 boyar maddesi  $30\text{-}200 \text{ mg L}^{-1}$  arasında değiştirilmiştir.

Konsantrasyonun artması ile renk ve aromatiklik gideriminin de azaldığı (daha yüksek absorbans değerleri)

Şekil 9'da görülmektedir. Bunun nedeni, sabit  $H_2O_2$  ve  $Fe^{+2}/Fe^0$  konsantrasyonlarında, boya konsantrasyonunun artması ile daha fazla  $H_2O_2$ 'nin kullanılmasıdır (Liu et al., 2011).

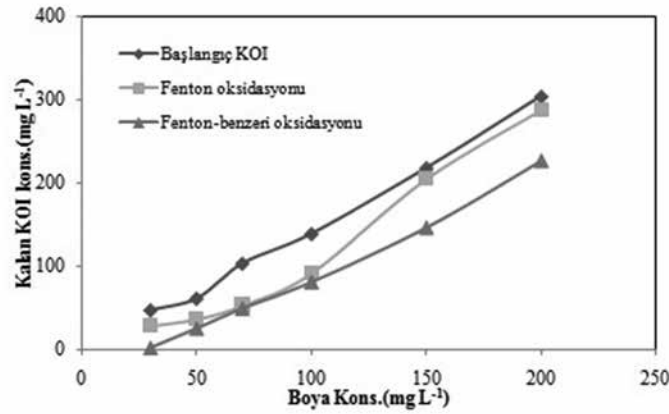
OH radikallerinin konsantrasyonu sabit kalacağı için, boya konsantrasyonunun artması ile giderme verimi azalır (Song and Li, 2009).



Şekil 9. AY36 boyar maddesinin Fenton ve Fenton-benzeri oksidasyonunda farklı boya konsantrasyonlarında absorbans değerleri ( $H_2O_2$  kons.= $100 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $Fe^{+2}$ = $2 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $Fe^0$ = $0.1 \text{ g L}^{-1}$ )

Fenton oksidasyonunda,  $50 \text{ mg L}^{-1}$  AY36 boyar maddesi için renk giderimi %97.78 iken  $200 \text{ mg L}^{-1}$  AY36 boyar maddesi için bu değer %57.24'e düşmüştür. Aromatiklik giderimi ise  $50 \text{ mg/L}$  boyar madde konsantrasyonunda %61.94 iken  $200 \text{ mg L}^{-1}$  konsantrasyonda %18.50 civarındadır.

Aynı durum Fenton-benzeri oksidasyonunda da geçerlidir.  $50 \text{ mg L}^{-1}$  boyar madde konsantrasyonu için renk giderimi %98.45 ve aromatiklik giderimi %49.12 iken  $200 \text{ mg L}^{-1}$  boyar madde konsantrasyonunda renk giderimi %63.28 ve aromatiklik giderimi ise %29.64 değerine düşmüştür.



**Şekil 10:** AY36 boyar maddesinin Fenton ve Fenton-benzeri oksidasyonunda farklı boya konsantrasyonlarında ortamda kalan KOI miktarları ( $H_2O_2$  kons.=100 mg L<sup>-1</sup>,  $Fe^{+2}$  =2 mg L<sup>-1</sup>,  $Fe^0$ =0.1 g L<sup>-1</sup>)

AY36 konsantrasyonunun artması ile başlangıç KOI değerleri artmakta ve buna paralel olarak KOI giderim verimi azalmaktadır. Şekil 10'da Fenton-benzeri oksidasyon yöntemi ile KOI gideriminin Fenton oksidasyon yöntemi ile KOI gideriminden daha yüksek olduğu görülmektedir. 150 mg L<sup>-1</sup> (217.81 mg L<sup>-1</sup> KOI) konsantrasyonunda boyar madde için KOI giderimi Fenton oksidasyonu ile %6.09 iken Fenton-benzeri oksidasyon ile %32.78'dir.

## SONUÇLAR

AY36 tekstil endüstrisi boyar maddesinin Fenton ve Fenton-benzeri oksidasyon prosesleri ile arıtımında yüksek renk, aromatiklik ve KOI giderimi elde edilmiştir. Fenton oksidasyon prosesinde en yüksek giderim pH=2.5 değerinde, Fenton-benzeri oksidasyonda ise pH=2.0 değerinde elde edilmiştir. Renk gideriminde  $Fe^{+2}$  ve  $Fe^0$  konsantrasyonlarının, KOI gideriminde ise  $H_2O_2$  konsantrasyonunun daha etkili olduğu bulunmuştur. AY36 boyar maddesinin Fenton-benzeri oksidasyon yöntemi ile daha iyi giderildiği sonucuna varılmıştır.

## KAYNAKLAR

- APHA, AWWA and WPCF ,1985. Standart Methods For the Examination of Water and Wastwater. Sixteenth Edition, Washington, DC.
- Clarke,C.E., Kielar,F., Johnson, K.L., 2013. The oxidation of acid azo dye AY 36 by a manganese oxide containing mine waste. Journal of Hazardous Materials, 246: 310– 318.

- Dokuzoğlu, Z.,Alkan, U., Yentürk, A., 2008. Reaktif Boyar Madde İçeren Tekstil Atıksularının İleri Oksidasyonu.Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 13(2):119-128.
- Forgacs, E., Cserhádi, T., Oros, G., 2004. Removal of synthetic dyes from wastewaters: a review. Environment International, 30: 953– 971.
- Gül,Ş., Ozcan Yıldırım, Ö., 2009. Degradation of Reactive Red 194 and Reactive Yellow 145 azo dyes by  $O_3$  and  $H_2O_2$ /UV-C processes. Chemical Engineering Journal, 155: 684-690.
- Hanay, Ö., Hasar, H., 2007. Fenton oksidasyon prosesi ile tekstil endüstrisi atıksuyunda renk giderimi. Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimler Dergisi, 19(4): 505-509.
- Liu, X., Qiu, M., Huang, C., 2011. Degradation of the Reactive Black 5 by Fenton and Fenton like system.Procedia Engineering, 15: 4835 – 4840.
- Malik, P.K., 2003. Use of activated carbons prepared from sawdust and rice-husk for adsorption of acid dyes: a case study of Acid Yellow 36. 56(3): 239–249.
- Reife, A., Freeman, S., 1996. Environmental Chemistry of Dyes and Pigments, John Wiley&Sons, Inc., Kanada.
- Sajjad Khezrianjoo and Hosakere Doddarevanna Revanasiddappa,2013. Photocatalytic Degradation of Acid Yellow 36 Using Zinc Oxide Photocatalyst in Aqueous Media. Journal of Catalysis.
- Song, Y., Li, J., 2009. Degradation of C.I. Direct Black 168 from aqueous solution by fly ash/ $H_2O_2$  combining ultrasound. Ultrasonics Sonochemistry, 16: 440–444.
- Yıldırım, A.Ö., 2009. Bazı Reaktif Boyar Maddelerin İleri Oksidasyon Yöntemleriyle Parçalanmasının İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Zhou, T., Lu, X., Wang, J., Wong, F.S., Li, Y., 2009. Rapid decolorization and mineralization of simulated textile wastewater in a heterogeneous Fenton like system with/ without external energy. Journal of Hazardous Materials, 165:193-199.